



*Manual de navegación
para yates*

Juan Antonio de la Puente

Copyright © 2003, Juan Antonio de la Puente Alfaro.

Todos los derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización expresa del autor.

Las reproducciones de cartas náuticas y otros documentos del Instituto Hidrográfico de la Marina están pendientes de autorización.

Borrador - Prohibida la distribución.

Índice

1	<i>Introducción</i>	1
	La navegación	1
	La Tierra	2
	El tiempo	7
2	<i>Cartas náuticas y otros documentos</i>	13
	Cartas náuticas	13
	Características de las cartas	17
	Trabajo sobre la carta	26
	Cartas electrónicas	30
	Otras publicaciones náuticas	32
3	<i>Rumbo, velocidad y distancia</i>	35
	Derrota e instrumentos de navegación	35
	La aguja náutica o compás	35
	La corredera	40
	Efectos del viento y de la corriente sobre la derrota	42
	Distancia navegada	44
	Trabajo sobre la carta	45
4	<i>Navegación a la vista de la costa</i>	51
	Introducción	51
	Líneas de posición	52
	Uso de las líneas de posición para determinar la derrota	56
	Situación mediante líneas de posición	59
	Calibración del compás de gobierno	62
	Otros tipos de líneas de posición	62
	Sondas	63
	Uso del sextante en la navegación costera	63
	Traslado de líneas de posición	66
5	<i>Navegación por satélite</i>	67
	Introducción	67
	Receptores de GPS	67
	Navegación con GPS	67
	Otros usos del GPS	67
6	<i>Navegación con radar</i>	68
	Introducción	68
	Receptores de radar	68

	Uso del radar en la navegación	68
	Precauciones	68
7	<i>Navegación de estima</i>	69
	Introducción	69
	Trazado de la derrota en la carta	69
	El cuaderno de bitácora	73
	Estima analítica	74
	Errores en la estima	77
8	<i>Mareas</i>	78
	Origen de las mareas	78
	Características de las mareas	80
	Predicción de las mareas	82
	Corrientes de marea	90
	Mareas y navegación	90
A	<i>Símbolos y abreviaturas</i>	93
B	<i>Organismos relacionados con la navegación</i>	96
	Organismos nacionales españoles	96

1 *Introducción*

La navegación

La *navegación* o *pilotaje* tiene por objeto el gobierno de un barco de forma que llegue a su destino de la forma más segura y rápida posible. Para ello se necesita:

- Conocer la *situación* actual del barco.
- Decidir cuál es la *derrota* (es decir la trayectoria) que hay que seguir para llegar al destino fijado.

La navegación es a la vez una técnica y un arte. La técnica de la navegación se apoya en conocimientos científicos propios de las matemáticas, la física, la astronomía y otras ciencias, con objeto de desarrollar métodos precisos para conocer la situación y determinar la derrota más conveniente. Además de estos métodos, un buen navegante utiliza su experiencia e intuición para valorar la información que obtiene por medio de sus sentidos y de los instrumentos de navegación, evaluar la cercanía y naturaleza de los peligros y, en definitiva, gobernar el barco de la manera más segura y rápida posible. En este manual se describen muchos de los fundamentos científicos y de los métodos que constituyen la técnica de la navegación. El arte de la navegación, sin embargo, sólo se puede aprender navegando, preferentemente en compañía de otros navegantes más expertos. También es útil, aunque de ninguna manera puede sustituir a la experiencia, leer o escuchar relatos de navegación.

Tipos de navegación

Atendiendo a la zona por donde se navega se pueden distinguir diversos tipos de navegación:

- *Navegación costera* es la que se realiza a la vista de la costa. En este tipo de navegación se pueden tomar como referencia los elementos de la costa que son visibles desde la mar, como faros, montañas, edificios y, en general, todos los puntos destacados que nos pueden ayudar a conocer nuestra situación y a evitar los peligros.
- *Navegación de altura* es la que se efectúa en mar abierto, lejos de la costa. En la navegación de altura no se pueden utilizar como referencia puntos situados en tierra, por lo que se hace necesario utilizar técnicas basadas en la observación de los astros o en la recepción de señales radioeléctricas.

Técnicas de navegación

El navegante tiene a su disposición diversas técnicas para obtener su situación y elegir el rumbo que ha de seguir en cada momento. Algunas de estas técnicas son muy antiguas, como las basadas en la enfilación de marcas en tierra, cuyo origen es anterior a la historia escrita. Otras datan sólo de hace unos pocos años, como la navegación por satélite. Las técnicas de navegación que actualmente se pueden considerar más útiles para un yate de tamaño medio se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- *Navegación costera*: esta categoría comprende un conjunto de técnicas basadas en la observación de puntos situados en tierra, como son la fijación de enfilaciones, la observación de demoras, las basadas en el cálculo de la distancia a una marca y la observación de ángulos horizontales.
- *Navegación de estima*: se basa en el cálculo aproximado de la derrota seguida a partir del rumbo y de la distancia navegada. La estima proporciona una situación aproximada, que resulta útil como comprobación de la obtenida por otros métodos más exactos, o cuando no se pueden emplear éstos por algún motivo.
- *Navegación con radar*: se basa en el uso del radar para determinar la dirección y la distancia a la que se encuentra la costa y otros obstáculos a la navegación, como pueden ser las rocas aisladas o los barcos próximos.
- *Navegación por satélite*: se basa en la recepción de señales de radio emitidas por satélites artificiales. Proporciona una situación muy precisa.
- *Navegación astronómica*: se basa en la observación de la posición de los astros —el Sol, la Luna, los planetas o algunas estrellas— en el firmamento. Proporciona situaciones bastante precisas, aunque no tanto como la navegación por satélite.

Ninguna técnica de navegación es suficiente por sí sola, por lo que un buen navegante debe conocer todos los métodos que pueden resultarle útiles teniendo en cuenta el tamaño de su barco y el tipo de navegación que quiera realizar. En particular, no debe confiarse sólo en la navegación por satélite, aunque actualmente sea la más fácil de llevar a cabo y la que proporciona situaciones más precisas. La dependencia de sistemas basados en satélites, cuyo funcionamiento puede verse alterado de forma imprevisible, y la posibilidad de averías en los receptores que se utilizan (como en cualquier instrumento de navegación) aconsejan el uso simultáneo de otros métodos.

La Tierra

La navegación se efectúa sobre la superficie del mar, que constituye la mayor parte de la superficie terrestre. La forma de la Tierra, como es sabido, se aproxima a la de una esfera achatada en los polos. En la mayoría de los casos no se comete error apreciable si se supone que su forma es completamente esférica, por lo que así lo haremos, excepto cuando sea necesario.

La Tierra gira sobre sí misma alrededor de un eje, cuyos extremos se denominan *polo Norte* y *polo Sur*. El círculo máximo perpendicular al eje terrestre se llama *ecuador*, y los círculos menores paralelos al mismo se denominan *paralelos*. Los *meridianos* son círculos máximos que pasan por los polos. Se denomina *meridiano de un lugar* al semicírculo que va de un polo al otro pasando por el lugar. El *meridiano inferior* de un lugar es el otro semicírculo del mismo meridiano, es decir es el meridiano que se sitúa en los antípodas.

Coordenadas geográficas

Latitud y longitud

Para situar un punto cualquiera en la superficie de la Tierra se utilizan sus dos *coordenadas geográficas* (figura 1.1):

- La *latitud* es el arco de meridiano comprendido entre el ecuador y el punto. Se mide en grados y minutos¹, hacia el Norte o hacia el Sur, y su valor está comprendido entre 0° y 90°.
- La *longitud* de un punto es el arco de ecuador comprendido entre un *meridiano de referencia* o *primer meridiano* y el meridiano que pasa por el punto. Se mide igualmente en grados y minutos, hacia el Este o hacia el Oeste, y su valor está comprendido entre 0° y 180°. Al no haber ningún meridiano que se presente de forma natural como origen para la medida de la longitud, se adopta como meridiano de referencia uno cualquiera, atendiendo a razones de conveniencia. Por convenio internacional el primer meridiano es el *meridiano de Greenwich*, que pasa por el observatorio situado en la ciudad inglesa de ese mismo nombre².

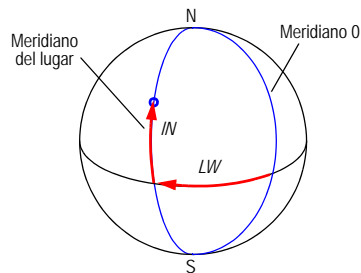


Figura 1.1. Latitud y longitud.

Generalmente se usan las abreviaturas *l* y *L*, respectivamente, para la latitud y la longitud³, y *N*, *S*, *E* y *W* para las direcciones de los puntos cardinales Norte, Sur, Este y Oeste. La situación de un punto se indica mediante su latitud y longitud, en este orden. Los minutos se escriben siempre con dos cifras. Normalmente se dan las coordenadas con décimas de minuto, siempre que la situación haya sido obtenida con suficiente precisión.

Ejemplo 1.1. La latitud del faro del Estacio es 37° 30,5' N, y su longitud 0° 32,4' W. Por tanto, su situación es **37° 30,5' N 0° 32,4' W**.

Diferencias de latitud y longitud

La *diferencia de latitud* (Δl) entre dos puntos es la resta algebraica de sus latitudes, considerando las latitudes Norte como positivas y las latitudes Sur como negativas.

La *diferencia de longitud* (ΔL) entre dos puntos es la resta algebraica de sus longitudes, considerando las longitudes Este como positivas y las longitudes Oeste como negativas⁴.

1. Un grado tiene sesenta minutos y un minuto sesenta segundos, aunque actualmente se prefiere usar fracciones decimales de minuto en vez de segundos. Por ejemplo, $38^\circ 37' 42'' = 38^\circ 37,7'$.
2. Antiguamente cada país usaba un meridiano de referencia propio. En España se han utilizado como tales los de Madrid y Cádiz.
3. También se usan los símbolos ϕ y λ , respectivamente, para la latitud y la longitud.
4. Seguimos aquí el convenio de la Unión Astronómica Internacional (UAI). En muchos manuales de navegación se sigue el convenio contrario, es decir se consideran positivas las longitudes Oeste. El convenio de signos de la UAI tiene ventajas en los cálculos de horas y de estima analítica (ver capítulo 7).

Ejemplo 1.2. La diferencia de latitud y longitud entre el faro del Estacio ($37^{\circ} 44,8' \text{ N } 0^{\circ} 43,2' \text{ W}$), y el bajo d'En Pou, en el freu grande de Ibiza, ($38^{\circ} 48,2' \text{ N } 1^{\circ} 25,2' \text{ E}$), es:

Bajo d'En Pou:	$+38^{\circ} 48,2' \text{ N}$	$+1^{\circ} 25,2' \text{ E}$
Faro del Estacio	$+37^{\circ} 44,8' \text{ N}$	$-(-0^{\circ} 43,2') \text{ W}$
$\Delta l =$	$+ 1^{\circ} 03,4' \text{ N}$	$\Delta L = +2^{\circ} 08,4' \text{ E}$

Por tanto, el bajo d'En Pou está $1^{\circ} 03,4'$ al Norte y $2^{\circ} 08,4'$ al Este del faro del Estacio.

Dirección y distancia

Medida de direcciones

Los marinos miden la dirección de una línea por medio del ángulo que forma la misma con una dirección de referencia. Algunos de estos ángulos tienen un nombre específico (figura 1.2): *Rumbo* (R) es el ángulo que forma la dirección que sigue el barco con la línea Norte-Sur. Se mide de 0° a 360° en el sentido de las agujas del reloj.

- *Demora* (D) o *acimut* (Z) es el ángulo que forma la visual a un objeto con la línea Norte-Sur. Se suele usar la palabra *demora* cuando se trata de un objeto terrestre, y *acimut* cuando se refiere a un astro. Se mide también de 0° a 360° en el sentido de las agujas del reloj.
- *Marcación* (M) es el ángulo que forma la visual a un objeto con la dirección que sigue el barco. Se mide de 0° a 180° hacia estribor (Er) o babor (Br). La marcación se relaciona con el rumbo y la demora mediante la fórmula:

$$D = R + M \quad (1.1)$$

Esta forma de medir los ángulos, denominada *circular*, es la que se emplea de forma generalizada en la actualidad. Los rumbos y demoras se escriben siempre con tres cifras, aunque su valor sea menor de 100° (por ejemplo, 005° o 045°).

A veces todavía se dan los rumbos en el sistema *cuadrantal*, cada vez más en desuso. En este sistema los rumbos se miden de 0° a 90° desde el Norte o el Sur hacia el Este o el Oeste. Los rumbos cuadrantales se escriben con dos cifras, precedidos del punto (N o S) a partir del cual se toman, y seguidos del punto (E u W) hacia el que se orientan. Más raro aún es el uso de los *rumbos por cuartas*, que resultan de la antigua división de la *rosa de los vientos* (figura 1.3).

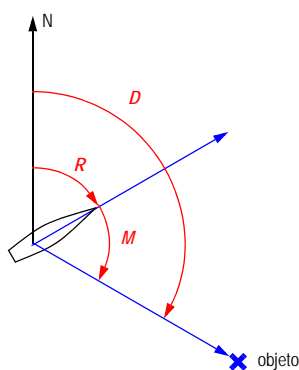


Figura 1.2. Rumbo, demora y marcación

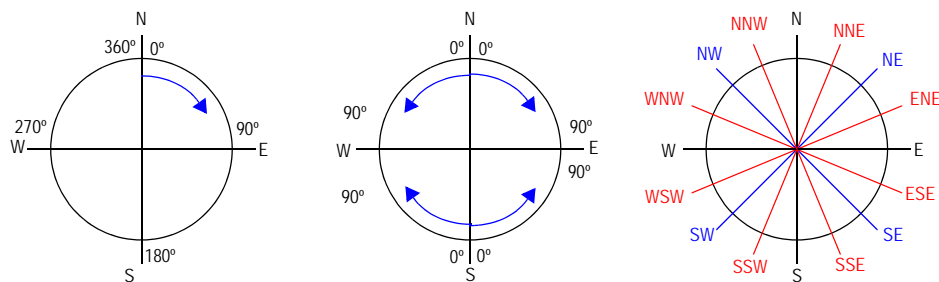


Figura 1.3. Rumbos circulares, cuadrantales y por cuartas.

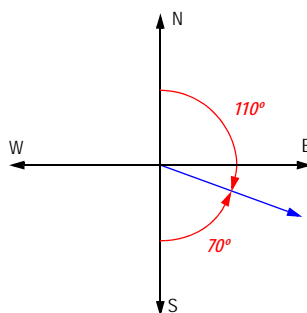


Figura 1.4. Rumbo circular y cuadrantal

Ejemplo 1.3. El rumbo cuadrantal **S 70° E** equivale al **110°** circular (figura 1.4). El rumbo **WSW** equivale al **247,5°** circular.

Las líneas que forman un ángulo constante con los meridianos (es decir con el Norte) se llaman *líneas loxodrómicas*. Los barcos suelen seguir líneas loxodrómicas en su navegación, ya que para ello basta con mantener un rumbo constante.

Medida de distancias

La unidad de distancia que se usa en navegación es la *milla náutica* (M), que mide 1852 m, valor aproximadamente igual a la longitud de 1' de arco de meridiano⁵.

5. El aplastamiento de la Tierra hace que este valor varíe ligeramente, de manera que la longitud de 1' de meridiano es de 1842,78 m en el ecuador, y de 1861,55 m en los polos.

La distancia más corta entre dos puntos situados en una superficie esférica es un arco de círculo máximo. Su valor se llama *distancia ortodrómica*. Sin embargo, la mayoría de las veces la distancia se mide sobre la línea loxodrómica que une los dos puntos. En este caso se habla de *distancia loxodrómica*, o *distancia a secas*. En distancias cortas (de menos de 500 millas) no hay error apreciable al medir la distancia loxodrómica en vez de la ortodrómica.

Ejemplo 1.4. La distancia (loxodrómica) entre el faro del Estacio y el bajo d'En Pou es de **119,157 M.** La distancia ortodrómica entre estos dos puntos es de **119,073 M.** Como puede verse, la diferencia no es significativa para distancias de este orden.

Elipsoide de referencia y datum

El hecho de que la Tierra no sea perfectamente esférica afecta a la forma de medir la latitud y la longitud. La forma real de la Tierra, suponiendo que toda su superficie estuviera ocupada por los océanos, es una figura geométrica irregular denominada *geoide*. Para calcular las coordenadas geográficas de un punto se aproxima el geoide por un *elipsoide de revolución*, figura que se obtiene al hacer girar una elipse sobre uno de sus ejes (en este caso el eje menor). Al ser el geoide irregular, el elipsoide que mejor se ajusta a la forma de la Tierra es diferente para cada zona de la Tierra, y ello ha dado lugar a la utilización de distintos *elipsoides de referencia* por los servicios cartográficos e hidrográficos de los distintos países. Se denomina *datum horizontal* al conjunto de parámetros que se utilizan para determinar las coordenadas geográficas en una zona determinada, a partir de un elipsoide de referencia.

En Europa se solía usar hasta hace pocos años el llamado *datum europeo*, basado en un elipsoide internacional que se ajusta con el geoide en Potsdam (Alemania). En otros continentes se usan otros datos, como el datum de Norteamérica, el de la India o el de Tokio. Todos ellos han sido sustituidos recientemente por el *sistema geodésico internacional* (*world geodetic system*), más conocido por las siglas *WGS84*. Este sistema de referencia está ajustado de forma que permite calcular las coordenadas geográficas de puntos situados en cualquier lugar del globo con un error mínimo.

Las diferencias entre las coordenadas calculadas con respecto a uno u otro datum son pequeñas, generalmente inferiores a 0,1'. Estas diferencias no son significativas cuando se usan métodos poco precisos para calcular la situación de un punto, pero cuando se usan métodos de navegación basados en satélites, que permiten determinar la situación con una precisión de algunos metros, es necesario tenerlas en cuenta. Las cartas españolas suelen indicar la diferencia entre las situaciones marcadas en la carta y las referidas al sistema WGS84 (véanse los capítulos 2 y 5).

El campo magnético terrestre

La Tierra tiene un campo magnético de intensidad apreciable, orientado aproximadamente en dirección Norte-Sur. Se llama *Norte magnético* a la dirección hacia la que se orienta espontáneamente un imán o una aguja imantada (es decir, una brújula) por efecto del campo magnético terrestre.

El ángulo que forma el Norte magnético con el Norte geográfico o *Norte verdadero* se llama *declinación* o *variación* magnética (figura 1.5). Su valor se mide en grados, y es positivo (NE) cuando el Norte magnético está hacia el Este del Norte verdadero, y negativo (NW) cuando el Norte magnético está al Oeste del verdadero. El valor de la declinación se suele representar mediante el símbolo d_m o δ .

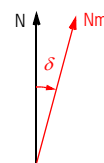


Figura 1.5. Norte magnético y Norte verdadero.

La declinación magnética, y por tanto la dirección del Norte magnético, varía para cada lugar de la Tierra. Además, su valor cambia con el tiempo, llamándose *incremento* o *decremento anuo* la diferencia de valor de la declinación entre un año y el siguiente. Las cartas y otros documentos náuticos (ver capítulo 2) proporcionan el valor de la declinación y su diferencia anua en las zonas que cubren.

Ejemplo 1.5. La declinación magnética en las cercanías del cabo de la Nao en 1997 era de $1^{\circ} 20'$ W, con una diferencia anual de $10'$ E. En este caso la declinación es negativa y la diferencia es positiva. Si queremos calcular el valor de la declinación en 2002 efectuaremos las siguientes operaciones:

Valor en 1997	=	$-1^{\circ} 20'$	(W)	
Diferencia	=	$+50'$	(E)	= 5 años \times $10'$
Valor en 2002	=	$-0^{\circ} 30'$	(W)	= $-0,5^{\circ}$

El valor de la declinación se suele dar en grados y minutos enteros o en grados y décimas de grado.

El tiempo

La medida precisa del tiempo es de gran importancia para la navegación. El tiempo transcurrido desde la última situación nos permite calcular la distancia recorrida, si conocemos la velocidad del barco. La determinación exacta del instante de las observaciones es fundamental en navegación astronómica, y la navegación por satélite hace uso de relojes atómicos de gran precisión para medir el tiempo que tardan las señales radiadas en llegar al observador. Por tanto, el navegante debe ser capaz de conocer la hora en todo momento con la precisión necesaria para el tipo de navegación que esté efectuando.

Desde la antigüedad más remota se ha medido el tiempo a partir de la observación de los fenómenos astronómicos más evidentes: la rotación de la Tierra, a partir de la cual se define la duración del día y su división en horas, minutos y segundos, y su traslación alrededor del Sol, cuya duración es de un año. La observación de las fases de la Luna dio origen, por su parte, a la semana y el mes.

A medida que se dispuso de relojes e instrumentos astronómicos más precisos se observó, sin embargo, que estos fenómenos astronómicos presentan irregularidades. Ello dio lugar a definiciones más precisas de las unidades de tiempo, hasta llegar a la época actual, en que la medida del tiempo se basa en la observación de fenómenos atómicos de una gran regularidad. Actualmente todas las medidas de tiempo se refieren a la unidad

fundamental, el segundo, definido a partir de la frecuencia de la radiación emitida por un átomo de Cesio⁶. Para los usos prácticos, sin embargo, se mantienen las unidades de tiempo tradicionales, estableciéndose formalmente su relación con el tiempo atómico:

1 minuto = 60 segundos

1 hora = 60 minutos

Normalmente se da la hora del día en horas y minutos, o en horas, minutos y segundos. Se suelen dar los valores respectivos separados por sus abreviaturas (h, m, s) o por el signo “:” (dos puntos), o en el caso de dar sólo las horas y minutos, con las cuatro cifras respectivas sin separación.

Ejemplo 1.6. Las siguientes expresiones se refieren a la misma hora:

3h 45m

03:45

0345

La expresión de la hora del día está sujeta a un *sistema de referencia de tiempo*. A continuación se describen de forma resumida los sistemas de referencia más comunes en navegación.

Tiempo solar

El tiempo solar se mide a partir del movimiento aparente del Sol. Un *día solar* es el tiempo que transcurre entre dos pasos sucesivos del Sol por el meridiano de un lugar. El día solar se divide en 24 *horas solares*, y la *hora solar* es el número de horas solares transcurridas desde el paso del Sol por el meridiano inferior del lugar.

El tiempo solar no se utiliza apenas, ya que la forma elíptica de la órbita de la Tierra en torno al Sol, la inclinación del eje de la Tierra sobre el plano de esa misma órbita (denominado *plano de la eclíptica*), y algunas otras irregularidades hacen que la duración del día solar presente notables variaciones a lo largo del año⁷.

Tiempo solar medio

Para evitar las irregularidades del tiempo solar se utiliza el *tiempo solar medio*, basado en la duración media del día solar y en la aproximación del movimiento real de la Tierra por otro imaginario en el que se considera que la órbita de la Tierra es circular y su eje es perpendicular al plano de la eclíptica. El movimiento aparente del Sol en esta aproximación se denomina *Sol medio*, y es regular a lo largo del año. De esta manera se define el *día solar medio* como la duración media del día solar. El día solar medio tiene una duración aproximadamente igual a 24 horas. La *hora solar media* u *hora civil* de un lugar es el tiempo transcurrido desde el paso del Sol medio por el meridiano inferior del lugar, o lo que es lo mismo desde la medianoche del día solar medio.

6. La duración del segundo se define como 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del átomo de Cs¹³³.

7. La diferencia entre el día solar más corto y el más largo es de algo más de 30 minutos.

Tiempo universal

Como el Sol pasa en distintos momentos por el meridiano de cada lugar, la hora civil será diferente para cada lugar de la Tierra, aunque todos los lugares situados en el mismo meridiano tienen la misma hora civil. Para evitar los inconvenientes que ello acarrea conviene definir un *tiempo universal* que sirva de referencia para toda la Tierra. Por convenio internacional se toma como tiempo universal el tiempo solar medio del meridiano de Greenwich u *hora civil de Greenwich*. Para designar el tiempo universal se usan las abreviaturas TU o UT (*universal time*)⁸.

Hora civil y hora universal

La hora civil de los lugares que están situados en meridianos diferentes del de Greenwich está relacionada con la hora universal por la longitud. Como el día solar medio dura 24 horas, y esto equivale a una rotación de 360°, la Tierra gira 15° (= 360/24) cada hora. Como consecuencia, los lugares que están 15° al Oeste del meridiano de Greenwich tienen una hora civil que es una hora anterior a la hora universal, y así sucesivamente. En general, la fórmula que relaciona la hora civil de un lugar (*HcL*) con la hora universal (*TU*) es:

$$HcL = TU + \Lambda \quad (1.2)$$

donde Λ es el *equivalente en tiempo* de la longitud,

$$\Lambda = \frac{L}{15} \quad (1.3)$$

donde L se expresa en grados y fracciones de grado. Hay que tener en cuenta el convenio de signos para la longitud (positiva al Este) para aplicar esta fórmula.

Ejemplo 1.7. La hora civil en Cedeira (43° 39,7' N 8° 3,2' W) cuando son las 15h 37m TU es

TU	=	15 37
Λ	=	<u>-00 32</u>
HcL	=	15 05

El valor de Λ se calcula dividiendo 8,05 (= 8+3,2/60) por 15. El resultado es 0,54 horas, es decir 32 minutos (=0,54*60). El valor es negativo por ser la longitud Oeste.

Hay que tener en cuenta que la hora civil en un lugar determinado puede corresponder a una fecha distinta de la correspondiente a la hora universal.

Ejemplo 1.8. La hora civil en Mahón (39° 52,1' N 4° 18,6' E) cuando son las 23h 58m TU del día 8 de abril es:

TU	=	23 58
Λ	=	<u>+00 17</u>
HcL	=	00 15(día 9)

es decir, las 00h 15m del día siguiente.

8. Está en desuso la abreviatura GMT (*Greenwich Mean Time*) que se usaba antes para designar el tiempo universal.

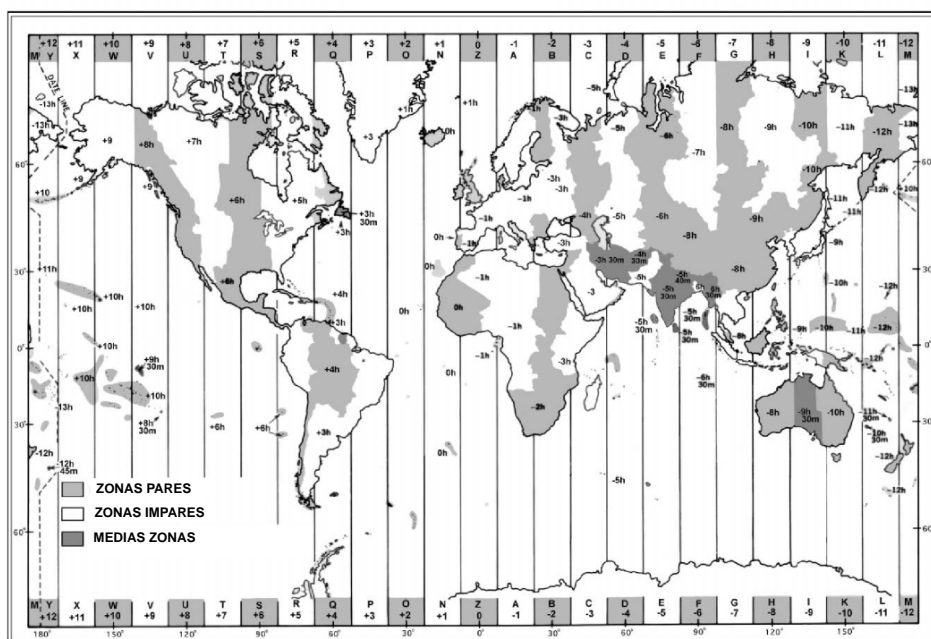


Figura 1.6. Husos horarios y zonas de hora legal.

Tiempo universal coordinado

El tiempo universal coordinado (TUC o UTC, *Universal Time Co-ordinated*) se basa en el empleo de relojes atómicos, ajustados de tal manera que su valor no difiera en más de 0,9 s del tiempo universal basado en observaciones astronómicas. El TUC es la base de la hora oficial en todos los países del mundo.

En lo sucesivo consideraremos que el TU y el TUC son equivalentes.

Hora legal

El hecho de que la hora civil de lugares próximos sea diferente hace su uso poco práctico para la vida diaria. Para evitar este inconveniente se suele adoptar una misma *hora legal* para una zona de la Tierra. Con este fin se divide la superficie terrestre en 24 *husos horarios* de 15° de longitud cada uno, centrados en los meridianos 0°, 15°, etc. (figura 1.6). Todos los lugares que están en un mismo huso horario tienen la misma hora legal.

En algunas partes del mundo se usan *zonas horarias* que no coinciden exactamente con los husos horarios. Por ejemplo, toda la parte peninsular de España está incluida en la zona 0, aunque estrictamente hablando la parte occidental de Galicia pertenece al huso -1. Las Islas Canarias se encuentran en su totalidad en la zona -1.

La hora legal (*HI*) de un lugar está relacionada con la hora universal por la ecuación:

$$HI = TU + Z \quad (1.4)$$

donde Z es la zona o huso horario en que se encuentra el lugar. En general, se puede tomar

$$Z = \text{entero}\left(\frac{L}{15}\right) \quad (1.5)$$

La función *entero* da el valor entero redondeado más próximo a su argumento (por ejemplo, $\text{entero}(1,2) = 1$, pero $\text{entero}(1,7) = 2$).

Ejemplo 1.9. La hora legal en un lugar situado en $40^\circ 35,0' \text{ N } 37^\circ 12,7' \text{ W}$ cuando son las 0235 TU es:

$$Z = \text{entero}(-37,21/15) = \text{entero}(-2,48) = -2$$

TU	=	02 35
Z	=	<u>-02 00</u>
HcL	=	00 35

NOTA: $37^\circ 12,7' = 37 + 12,7/60 = 37,21^\circ$

Línea de cambio de fecha

El meridiano 180° puede considerarse indistintamente Este u Oeste. Por tanto, se puede considerar que la hora en el mismo es 12 horas anterior o 12 horas posterior al TU. Para resolver esta ambigüedad se conviene en cambiar la fecha al llegar a dicho meridiano, de forma que cuando se va hacia el Este se cuenta un día menos y cuando se va hacia el Oeste se cuenta un día más.

Para evitar los problemas que surgen en las escasas tierras que se encuentran sobre este meridiano, se definió una *línea internacional de cambio de fecha* que se aparta ligeramente del meridiano 180° en las zonas de tierra (figura 1.6).

Ejemplo 1.10. Cuando son las 15 30 TU del día 8 de abril, en el meridiano 175° E son las 03 30 del día 9, mientras que en el meridiano 175° W son las 03 30 del día 8.

Hora oficial

En algunos países se modifica la hora legal por motivos políticos o económicos, durante todo el año o durante algunos meses. La *hora oficial en estos países* es igual a la hora legal corregida con un *adelanto o retraso*:

$$H_o = H_l + C \quad (1.6)$$

donde C es la corrección oficial (adelanto o retraso). En España C es igual a 1 hora en invierno y de 2 horas en verano⁹.

9. La hora oficial en la España peninsular es la denominada *CET* (*Central Europe Time*), que es oficial también en la mayoría de los países de Europa Occidental. El horario de verano comienza el último domingo de marzo a las 0100 TU, y termina el último domingo de octubre a la misma hora (0100 TU). En Canarias la corrección es la misma, y el cambio de hora se efectúa al mismo tiempo que en la península. Como las islas Canarias están en el huso -1, la hora oficial en Canarias es siempre una hora menos que en la Península.

El reloj de bitácora

El *reloj de bitácora* es el que se usa a bordo de un barco para marcar la hora. Se suele poner en hora con la hora oficial cuando se navega cerca de la costa, o con la hora legal cuando se navega en alta mar. La expresión *hora del reloj de bitácora* (HRB) se refiere a la hora que marca el reloj de bitácora, y es por tanto equivalente a *hora oficial* u *hora legal*, según los casos.

La fecha y el calendario

La determinación de la fecha se basa, como es sabido, en el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, cuyo período, denominado *año trópico*, tiene una duración de 365,2425 días aproximadamente. Para ajustar la duración del año a un número entero de días completos se usan las reglas del *calendario gregoriano*, vigente en España desde 1582¹⁰, por las cuales se añade un día (el 29 de febrero) a determinados años, denominados *años bisiestos*. Son bisiestos los años cuyo número es múltiplo de 4, excepto los múltiplos de 100 que no lo son de 400 (por ejemplo, el año 2000 fue bisiesto, pero no lo fueron el 1700, el 1800 ni el 1900).

10.El calendario fue promulgado por una bula del papa Gregorio XIII, por lo que sólo fue adoptado inmediatamente por los países de religión católica. El Reino Unido, junto con lo que entonces eran sus colonias americanas, no adoptó el calendario gregoriano hasta 1752. Los países del este de Europa lo hicieron entre 1912 y 1918, y algunos otros países aún más tarde (por ejemplo, Turquía en 1927).

Cartas náuticas

Una carta náutica es un mapa de una zona de la superficie del mar y de la costa adyacente. Las cartas muestran la forma de la costa, la profundidad del mar, los puntos peligrosos para la navegación, las ayudas a la navegación, los puntos relevantes de la costa, y todos los detalles útiles para navegar en la zona que cubren.

Las cartas pueden presentarse de distintas formas. La más común es la carta impresa sobre una superficie de papel, pero cada vez son más frecuentes la *cartas electrónicas*, cuyo contenido está codificado en forma numérica y almacenado en un dispositivo electrónico adecuado. Las cartas electrónicas no son simplemente una versión digital de las cartas en papel, sino que pueden contener información adicional, que se puede consultar de distintas formas, y mezclar con los datos obtenidos de otros instrumentos electrónicos. Para leer las cartas electrónicas se necesita un *visor* adecuado, que puede ser un computador ordinario dotado de los programas necesarios. Sin embargo es muy frecuente que el visor sea un computador especializado integrado con otros instrumentos electrónicos, como navegadores por satélite o sistemas de radar (véase el capítulo 5).

Los servicios hidrográficos de cada país realizan los trabajos necesarios para recopilar los datos necesarios para confeccionar cartas de las zonas de navegación que les interesan, y publican cartas oficiales basadas en esos datos y en los que intercambian con otros países. Estos mismos servicios o, en ocasiones, editoriales privadas publican también cartas especialmente adaptadas a la navegación deportiva. Es muy importante mantener las cartas al día, aplicándoles las correcciones que se publican en los *avisos a los navegantes* o en otras publicaciones similares. En España el Instituto Hidrográfico de la Marina es el organismo encargado de publicar las cartas náuticas oficiales y otros documentos.

La proyección de Mercator

La representación de la superficie de la Tierra, aproximadamente esférica, sobre una superficie plana se realiza mediante una *proyección*. Una proyección es una relación que hace corresponder a cada punto de la superficie terrestre un punto del plano de la carta¹. Generalmente se procura que la proyección utilizada tenga determinadas características, como la conservación de las formas de los accidentes geográficos, de las distancias entre puntos de

la superficie terrestre, las superficies de los mares y continentes, etc. Ninguna proyección permite mantener todas estas propiedades a la vez, por lo que generalmente es necesario sacrificar algún aspecto de la realidad para representar adecuadamente otros. En el caso de la navegación marítima es fundamental que los ángulos medidos en la carta sean iguales que los medidos en la realidad, ya que, como veremos, muchas técnicas de navegación se basan en la medida de los ángulos que forman determinadas líneas con la dirección Norte (rumbos y demoras). Una proyección que tiene esta propiedad es una *proyección conforme*.

La proyección de Mercator, ideada en 1569 por el cartógrafo flamenco Gerhard Kremer², es la que se utiliza para confeccionar la gran mayoría de las cartas náuticas. Es una proyección conforme, en la que los meridianos se representan como líneas verticales, y los paralelos como líneas horizontales (figura 2.1). Todos los demás círculos máximos (líneas ortodrómicas) se representan mediante curvas. Por el contrario, las líneas que siguen un rumbo constante (loxodrómicas) se representan como líneas rectas. Como hemos visto, esta es la propiedad más importante de esta proyección desde el punto de vista de la navegación. Sin embargo, la proyección de Mercator tiene el inconveniente de

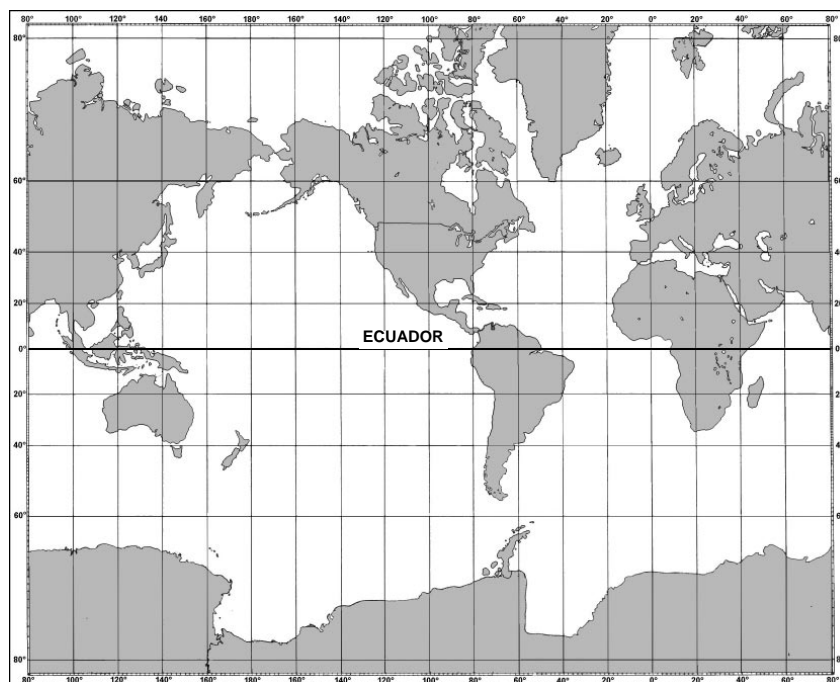


Figura 2.1. Mapamundi en proyección de Mercator.

1. En términos matemáticos este tipo de relación se llama *aplicación*. Para construir un mapa de forma correcta la aplicación debe ser *biyectiva*, es decir a cada punto de la parte de la superficie terrestre considerada debe corresponder un único punto en la carta y viceversa.
2. El nombre “Kremer” significa “mercader”, y “Mercator” es una versión latinizada de este nombre.

que la superficie de los continentes e islas se representa deformada, de tal manera que las tierras situadas en latitudes altas aparecen aumentadas con respecto a las situadas cerca del Ecuador. Así, Groenlandia aparece en las cartas mercatorias con un tamaño similar al de África, cuando en realidad ésta es unas 13 veces mayor.

Escala de las cartas

La escala de una carta es la relación entre el tamaño de los objetos representados en la carta y el tamaño real de los mismos en la superficie de la Tierra. Por ejemplo, si la escala es $1/100\ 000$, una línea de 1 cm en la carta representa una distancia real de 1 km ($= 100\ 000$ cm). Por tanto, cuanto mayor es la escala de una carta, con mayor detalle se representará en ella la superficie terrestre³.

En las cartas mercatorias los elementos de la superficie terrestre se representan con un tamaño mayor cuanto mayor es la latitud. Por tanto, la escala de estas cartas no es uniforme, sino que aumenta con la latitud. Ésta es la razón por la cual las tierras situadas cerca de los Polos parecen mayores que las que están cerca del Ecuador.

Latitudes aumentadas

Aunque la escala de una carta mercatoria varía con la latitud, podemos considerarla constante si nos fijamos sólo en una zona suficientemente pequeña de la carta. En este caso la escala debe ser la misma a lo largo de los meridianos y de los paralelos, con el fin de mantener el valor de los ángulos medidos sobre la superficie terrestre, y por tanto el carácter conforme de la proyección.

La longitud de un arco de $1'$ de meridiano es prácticamente igual en todas las latitudes, salvo una pequeña diferencia debida a la falta de esfericidad de la Tierra. Esta longitud es aproximadamente igual a 1 milla náutica, es decir 1852 m. Por el contrario, un arco de $1'$ de paralelo sólo mide 1 milla en el Ecuador. A medida que se avanza hacia latitudes más altas, los meridianos se van acercando (figura 2.2), por lo que la longitud de los paralelos va disminuyendo con la latitud, de tal manera que en la latitud ϕ la longitud de un arco de $1'$ de paralelo es igual a $\cos \phi$ millas. Por otra parte, en la proyección de Mercator la sepa-

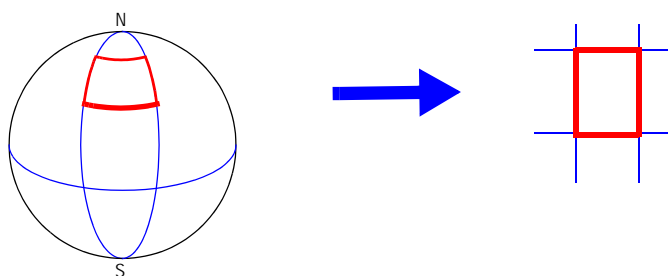


Figura 2.2. Convergencia de los meridianos.

3. Puesto que la escala se representa mediante una fracción cuyo numerador es igual a la unidad, será tanto mayor cuanto menor sea el valor del denominador. Así, una escala de $1/50\ 000$ es mayor que una de $1/100\ 000$.

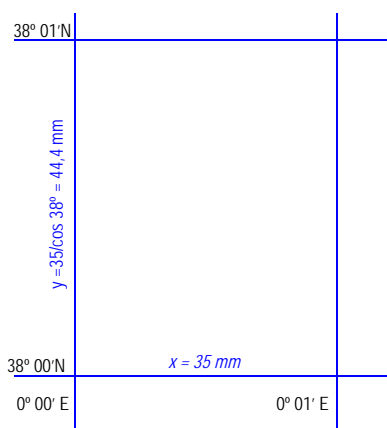


Figura 2.3. Escalas de latitud y longitud.

ración entre las meridianos es constante e independiente de la latitud. Por tanto, es necesario aumentar la escala en el sentido de la latitud para mantener la proporción entre la medida de los arcos de meridiano y de paralelo en todas las latitudes. Si consideramos un rectángulo de $\Delta\varphi$ de latitud por $\Delta\lambda$ de longitud cuya esquina inferior izquierda tiene unas coordenadas φ, λ , la relación entre los lados del rectángulo (x, y) es:

$$\frac{y}{x} = \frac{1}{\cos \varphi} = \sec \varphi \quad (2.1)$$

Ejemplo 2.1. La figura 2.3 muestra la representación en una carta mercatoriana de un rectángulo de 1' de latitud por 1' de longitud situado en la latitud 38° 00' N. La medida de los lados correspondientes a los paralelos es de **35 mm**, mientras la de los lados correspondientes a los meridianos es igual a $35/\cos 38^\circ = \mathbf{44,4 \text{ mm}}$.

La función *secante* es la inversa del coseno. Por tanto, en la proyección de Mercator la latitud se aumenta respecto a la longitud proporcionalmente a la secante de la latitud. Esta ecuación sólo es válida para zonas reducidas de la carta, en las que la diferencia de latitudes es menor de 1°, aproximadamente. Para valores grandes de la latitud se utiliza la *latitud aumentada*, que es la distancia de un punto de latitud φ al Ecuador, igual a

$$\varphi_a = \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right). \quad (2.2)$$

Esta función se obtiene suponiendo que la Tierra es esférica, por lo que puede ser necesario corregirla para el elipsoide de referencia de las cartas que se utilicen.

Otras proyecciones

La proyección de Mercator no es adecuada para representar las zonas polares, ya que por encima de los 60° de latitud la distorsión introducida por el aumento de la escala es muy

grande, y los Polos no tienen representación. Por este motivo en las cartas de estas zonas se utilizan otras proyecciones, de las que la más común es la *proyección gnomónica*. Ésta consiste en proyectar geoméricamente la superficie terrestre desde el centro de la Tierra sobre un plano tangente a la misma. Cuando el punto de tangencia coincide con uno de los polos terrestres se denomina *proyección gnomónica polar*. En este caso los meridianos se representan como rectas convergentes en el Polo, y los paralelos como circunferencias concéntricas con centro en el Polo. Otras proyecciones de uso frecuente en las cartas de las zonas polares son la *proyección polar estereográfica* y la *proyección de Lambert modificada*.

La proyección gnomónica tiene la propiedad de que todos los círculos máximos se representan en las cartas como líneas rectas. Por este motivo a veces se usan cartas en proyección gnomónica oblicua (es decir, con el punto de tangencia en un lugar cualquiera de la superficie terrestre) para trazar *derrotas ortodrómicas*, es decir las que siguen un arco de círculo máximo.

Características de las cartas

Las cartas náuticas contienen numerosos detalles interesantes para la navegación, por lo que a veces su lectura puede resultar complicada a primera vista. Es necesario, por tanto, conocer los convenios de signos, rotulación, escalas, etc. que se utilizan en su confección, así como los procedimientos adecuados para mantenerlas al día. A continuación se resumen las características más importantes de las cartas oficiales españolas publicadas por el IHM (Instituto Hidrográfico de la Marina), que son similares a las de otros organismos.

Características generales

Identificación

Las cartas náuticas se identifican mediante un número, que aparece en la esquina inferior derecha y en la superior izquierda de cada carta. Cerca del número situado en la esquina inferior derecha aparece también el número y la fecha de la edición, y la fecha de la última corrección efectuada en el momento de adquirir la carta (figura 2.4).

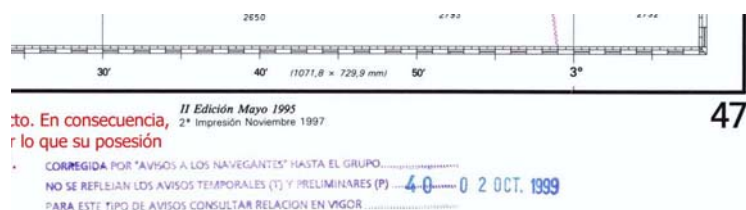


Figura 2.4. Datos de identificación de un ejemplar de la carta número 47 del IHM.

Tarjeta

La mayoría de la información general sobre la carta se encuentra en la *tarjeta*, que es la parte de la carta donde se describe la zona que abarca la carta, junto con otros datos de interés (figura 2.5).

Escala

La escala de la carta es, como hemos visto, la relación entre el tamaño de los objetos representados en la carta y su tamaño real sobre la superficie terrestre. Como en la proyección de Mercator la escala varía con la latitud, la escala que figura en la tarjeta se refiere siempre a una latitud determinada. Las cartas tienen también *escalas gráficas* de latitudes y longitudes en sus bordes, que permiten leer las coordenadas de un punto cualquiera y medir distancias, tal como se explica más adelante. Por ejemplo, la escala de la carta nº 47 del IHM es de 1:350 000 en la latitud 38° 30' N (figura 2.5). En esta misma carta, la escala es ligeramente mayor en latitudes más altas, y ligeramente menor en latitudes más bajas.



Figura 2.5. Tarjeta de la carta número 47 del IHM.

Escalas de latitudes y longitudes

Las cartas náuticas llevan dos tipos de escalas gráficas, que se utilizan para medir coordenadas y distancias (figura 2.6):

- La *escala de latitudes* está situada en los bordes laterales de la carta. Se usa para medir la latitud de un punto en la carta. También se usa para medir distancias, ya que $1 \text{ M} = 1'$ de latitud.
- La *escala de longitudes* está situada en los bordes superior e inferior. Se usa para medir longitudes sobre la carta.

Ejemplo 2.2. El punto marcado en la carta de la figura 2.6 está situado en $37^{\circ} 41,3' \text{ N } 0^{\circ} 45,6' \text{ W}$.

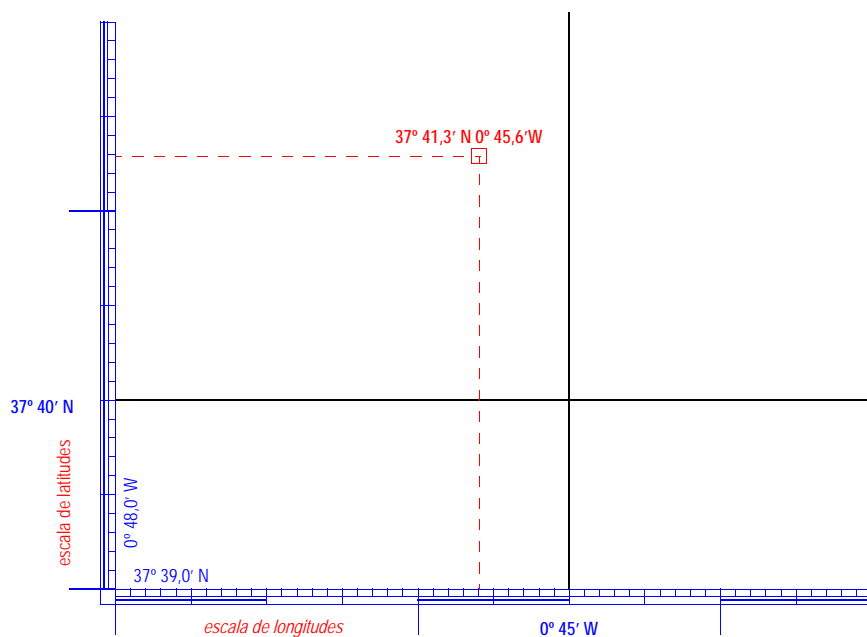


Figura 2.6. Escalas de latitud y longitud.

Tipos de cartas

Las cartas se clasifican según su escala y la superficie de la Tierra que representan en:

- *Cartas generales*: las que representan una gran extensión de la superficie de la Tierra, con escalas comprendidas entre 1: 30 000 000 y 1: 3 000 000. Se utilizan únicamente para trazar grandes derrotas en navegación oceánica.
- *Cartas de arrumbamiento o recalada*: representan una extensión limitada de la superficie terrestre, con una escala comprendida entre 1: 3 000 000 y 1:200 000. Se utilizan para navegar en distancias medias o para acercarse a la costa después de una navegación de altura.
- *Cartas para navegación costera*: representan de forma detallada una porción de costa, con una escala comprendida entre 1:200 000 y 1: 50 000.
- *Aproches*: son cartas de gran escala (del orden de 1:25 000), que se utilizan para navegar cerca de los puertos o en zonas de gran dificultad.
- *Portulanos*: con escala mayor de 1:25 000. Representan con gran detalle el interior de los puertos, canales y fondeaderos.

Los aproches y portulanos se encuentran a menudo insertados en forma de *cartucho* en otras cartas de menor escala.

También se habla de *cartas de punto menor* o de *punto mayor*. Se consideran cartas de punto menor las cartas generales y las de arrumbamiento, y cartas de punto mayor las restantes.

Datum de la carta

La tarjeta también contiene información sobre el *datum horizontal* de la carta. Como vimos en el capítulo 1, este término se refiere al elipsoide que se utiliza para aproximar la forma de la Tierra al confeccionar la carta. La mayoría de las cartas españolas están referidas al denominado *datum europeo de 1950*, que no coincide con el WGS84, que es el que se utiliza en los sistemas de navegación por satélite (ver capítulo 5). Con el fin de permitir el uso de estas cartas en la navegación por satélite, la tarjeta proporciona instrucciones para convertir las coordenadas geográficas medidas en la carta al sistema WGS84 y viceversa.

Ejemplo 2.3. La carta número 47 del IHM está referida al datum europeo (figura 2.5). En la tarjeta figura el siguiente párrafo:

SITUACIONES OBTENIDAS POR SATÉLITE: Las situaciones obtenidas mediante sistemas de navegación por satélite referidas al Sistema Geodésico Mundial (WGS-84) deberán ser desplazadas 0,07 minutos al Norte y 0,07 minutos al Este para estar correctamente representadas en esta carta.

Si se ha obtenido una situación por satélite referida al sistema WGS84 igual a 37° 44,02' N 0° 42,35' W, la trazaremos en la carta como **37° 44,09' N 0° 42,28' W**. A la escala de esta carta (1:350 000) la diferencia es imperceptible (0,4 mm, aproximadamente), pero si usamos cartas de punto mayor es muy importante hacer la corrección del datum. Así, por ejemplo, la corrección de 0,07' de latitud (129,6 m) equivale a 3,2 mm en la carta 471A (escala 1:40 000), y a 10 mm en el portulano del Puerto Tomás Maestre incluido en un cartucho de la misma carta, cuya escala es 1:15 000.

Como vemos en el ejemplo anterior, cuando se quiere obtener situaciones precisas con sistemas de navegación por satélite es necesario tener en cuenta el datum de la carta y hacer las correcciones necesarias.

Datum vertical

El datum vertical es la referencia que se usa para medir las elevaciones (en tierra) y las sondas (en la mar). En las cartas españolas, las elevaciones se miden siempre en metros sobre el nivel medio del mar, y las sondas también en metros, referidas a la bajamar escorada (ver capítulo 8).

En las cartas inglesas y norteamericanas antiguas se miden las elevaciones en pies (*ft*), y las sondas en brazas (*fm*) y pies, aunque en las cartas modernas estas magnitudes se miden en metros. En estas cartas las sondas se refieren al nivel medio de la bajamar de mareas vivas.

Rosas y declinación magnética

Una *rosa* es una figura consistente en dos círculos graduados concéntricos que indican rumbos verdaderos y magnéticos (figura 2.7). En la dirección que señala el Norte magnético se indica el valor de la declinación magnética para un año determinado, y el valor de la variación anual de la misma.

Cuando la declinación magnética varía significativamente de una parte a otra de la carta, su valor se indica mediante distintas rosas o con rótulos adicionales. En estos casos hay que emplear el valor de la declinación indicado en la rosa o rótulo más próximo a la zona de la carta con la que se esté trabajando.

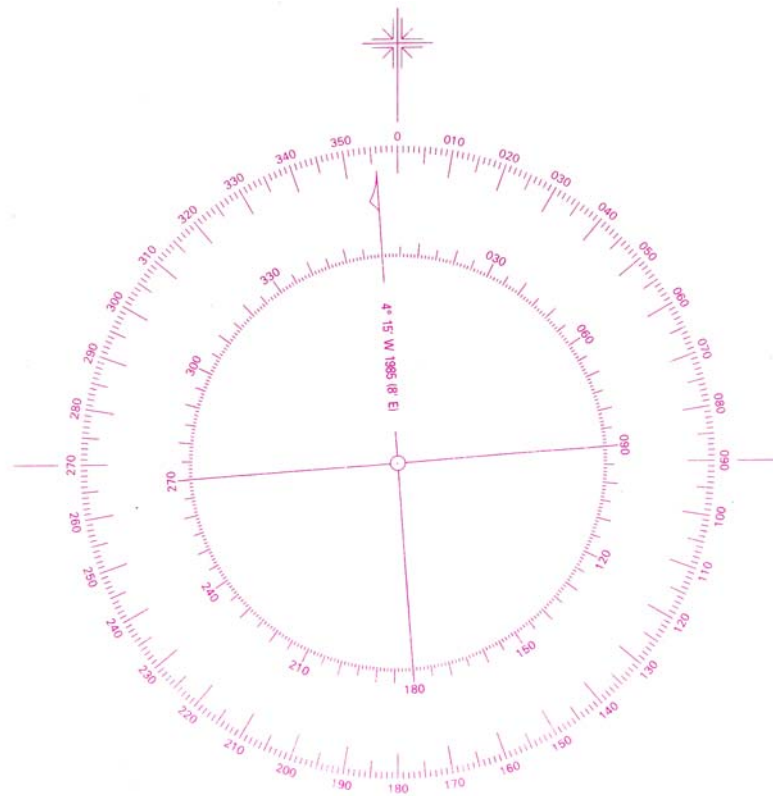


Figura 2.7. Rosa de las cartas.

Ejemplo 2.4. El valor de la declinación magnética en la zona de la carta donde se encuentra la rosa de la figura 2.7 es de $4^{\circ} 15'$ W en 1985. La variación anual es de $8'$ E. Por tanto, en 2003 la declinación será igual a

$$\begin{aligned} \text{dm (1985)} &= -4^{\circ} 15' \quad (\text{W}) \\ \text{variación} &= +2^{\circ} 42' \quad (\text{E}) = +162' = 18 \text{ años} \times 9' \text{ E} \\ \text{dm (2003)} &= -1^{\circ} 33' \quad (\text{W}) \approx -1,5^{\circ} \end{aligned}$$

El valor de la declinación en 2003, por tanto, es aproximadamente igual a $-1,5^{\circ}$.

Detalles de las cartas

Las figuras 2.9 y 2.10 muestran sendos fragmentos de dos cartas náuticas: el aproche a la ría de Cedeira incluido en la carta nº 930, y la carta de navegación costera nº 471 A del IHM. En ambas se pueden apreciar la mayoría de los detalles que suelen aparecer en las cartas náuticas.

Signos y abreviaturas

La *publicación especial nº 14 (INT 1)* del Instituto Hidrográfico de la Marina contiene todos los símbolos, abreviaturas y términos usados en las cartas oficiales españolas. Los símbolos son los recomendados por la Organización Hidrográfica Internacional (OHI), aunque en algunos casos las cartas españolas de una cierta antigüedad utilizan símbolos nacionales distintos de aquéllos. Estos símbolos nacionales se explican también en la publicación nº 14.

Profundidad y naturaleza del fondo

La profundidad medida en distintos puntos de la carta se indica mediante *sondas*. Las sondas se refieren al datum vertical de la carta (la bajamar escorada en las cartas españolas), y se representan mediante números que indican la profundidad en metros y, en su caso, en decímetros, en el punto donde se encuentran. La cifra que indica los decímetros se escribe como un subíndice de las que indican los metros enteros. Las sondas que se encuentran fuera de posición, es decir las que se refieren a un punto cercano a aquél donde se encuentran, se escriben entre paréntesis. Las sondas medidas con precisión se escriben en cursiva, mientras que las dudosas o las obtenidas de otros documentos menos fiables se escriben con cifras rectas (figura 2.8).

Las sondas negativas corresponden a puntos que velan en la bajamar escorada, aunque pueden quedar sumergidos al subir la marea (capítulo 8). Se escriben subrayadas.

<u>35</u> A	Sonda de 35 m con fondo de arena.
<u>12</u> ₇ P	Sonda de 12,7 m con fondo de piedra.
(8 ₂)	Sonda de 8,2 m en un punto cercano.
15	Sonda de 15 m aproximada.
<u>1</u> ₈	Sonda negativa de 1,8 m sobre la bajamar escorada.

Figura 2.8. Ejemplos de sondas.

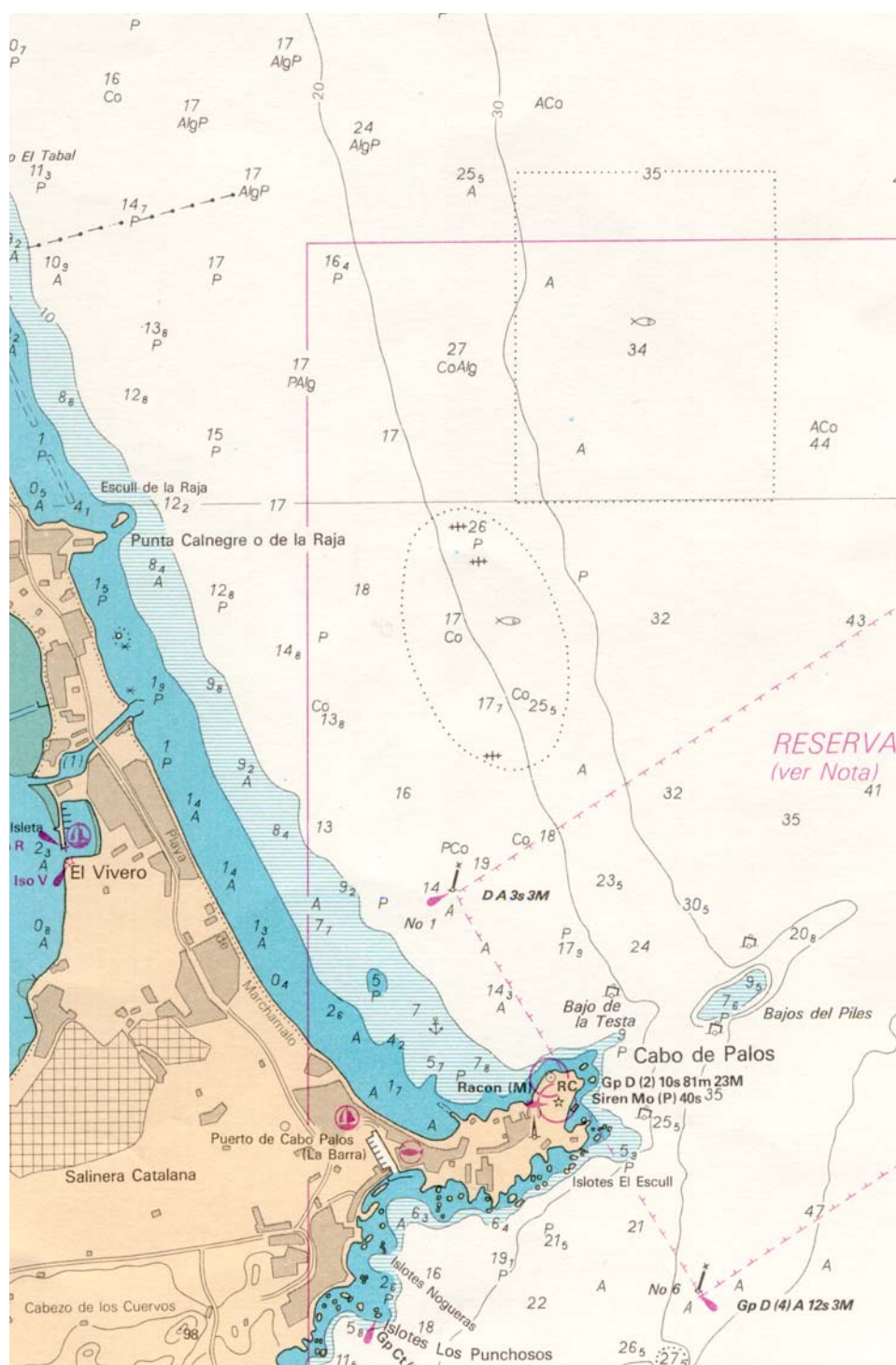


Figura 2.10. Fragmento de la carta 471 A del IHM.

Ejemplo 2.5. En un punto en donde la carta marca 1₈ la profundidad del agua es igual a 0,7 m cuando la altura de la marea es de 2,5 m. Cuando la altura de la marea es menor de 1,8 m el punto *ve/a* (es decir, está fuera del agua).

Las sondas suelen ir acompañadas de una abreviatura, situada debajo de ellas, que indica la naturaleza del fondo. La figura 2.11 muestra algunas de las abreviaturas más comunes definidas por las normas nacionales e internacionales.

Los *veriles* o *líneas isobáticas* son líneas que unen todos los puntos que tienen una misma profundidad (por ejemplo, 10 m, 20 m o 100 m). Las zonas delimitadas por los veriles de menor profundidad, dependiendo de la escala y del tipo de carta, se colorean con distintos tonos de azul. La zona cercana a la costa que queda al descubierto en la bajamar se colorea de verde claro.

Peligros

Los distintos peligros que se encuentran en la mar, como piedras, bajos, restos de naufragios, etc. se indican en las cartas mediante diversos signos, los más importantes de los cuales se muestran en la figura 2.12.

Marcas y luces

Las cartas muestran de forma detallada la situación de las marcas terrestres útiles para la navegación, y de las boyas, balizas, luces y otras ayudas. Las luces se indican con una marca púrpura, junto con sus características luminosas (figura 2.13). Los sectores visibles o de distintos colores, en su caso, se indican también gráficamente en la carta. También se indica la altura de la luz sobre el nivel medio del mar y su alcance en millas. Todos estos datos se encuentran igualmente en el *Libro de Faros*, donde debe acudirse siempre para una referencia más completa y exacta.

<i>A, S</i>	Arena (<i>sand</i>)
<i>F, M</i>	Fango (<i>mud</i>)
<i>P, St</i>	Piedra (<i>stone</i>)
<i>Cº, G</i>	Cascajo (<i>gravel</i>)
<i>Gº, P</i>	Guijarro (<i>pebbles</i>)
<i>R, R</i>	Roca (<i>rock</i>)
<i>Alg, Wd</i>	Algas (<i>weed</i>)

Figura 2.11. Tipos de fondos.




	Roca a flor de agua.
	Roca cubierta peligrosa.
 <i>Wk</i>	Naufragio.

Figura 2.12. Símbolos de peligros.


	Luz, faro.
<i>F, F</i>	Fija (<i>fixed</i>).
<i>Oc., Oc</i>	Ocultaciones (<i>occulting</i>).
<i>Gp. Oc., Oc(2)</i>	Grupos de ocultaciones.
<i>D, FI</i>	Destellos (<i>flashing</i>).
<i>Gp.D., FI(3)</i>	Grupos de destellos.
<i>Ct, Q</i>	Centelleos (<i>quick</i>).
<i>B, W</i>	Blanca (<i>white</i>).
<i>R, R</i>	Rojo (<i>red</i>).
<i>V, G</i>	Verde (<i>green</i>).

Figura 2.13. Símbolos y abreviaturas de luces y faros.

Puesta al día de las cartas

La información que contienen las cartas sólo es exacta en la fecha de su última actualización, que en el momento de su adquisición está escrita en el margen inferior (figura 2.4). Para mantenerlas al día es preciso actualizarlas con las correcciones que se publican cada semana en los *Avisos a los navegantes*, editados por el Instituto Hidrográfico de la Marina.

Trabajo sobre la carta

Instrumentos

Los trabajos gráficos sobre la carta se efectúan con lápiz, compás de puntas o compás ordinario (con mina de lápiz), transportador y regla. En los yates se suelen utilizar instrumentos que combinan un transportador y una regla, de forma rectangular o triangular, que son más fáciles de utilizar que los transportadores tradicionales en el reducido espacio de la mesa de cartas.

Situaciones

Obtener las coordenadas de un punto de la carta

Para obtener las coordenadas de un punto se utiliza normalmente un compás, una de cuyas puntas se coloca en el punto (figura 2.14, 1). Con la otra punta se tangentea el paralelo más próximo, y manteniendo la abertura del compás se mide la latitud en la escala de latitudes de la carta (2). Para la longitud se opera de forma semejante (3 y 4).

Situar un punto dadas sus coordenadas

Para situar un punto en la carta, se coloca una punta del compás en la marca correspondiente a la latitud en la escala de latitudes, y la otra punta en el paralelo más cercano en la misma escala (figura 2.15, 1). La abertura del compás se traslada al meridiano más cercano al punto, a partir del mismo paralelo (2), y se marca el punto correspondiente. Se coloca el transportador de forma que su borde superior pase por el punto marcado y esté perpendicular al meridiano, y sobre este borde se lleva la abertura de compás que previamente se ha tomado sobre la escala de longitudes, entre el meridiano anterior y la longitud buscada (4 y 5).

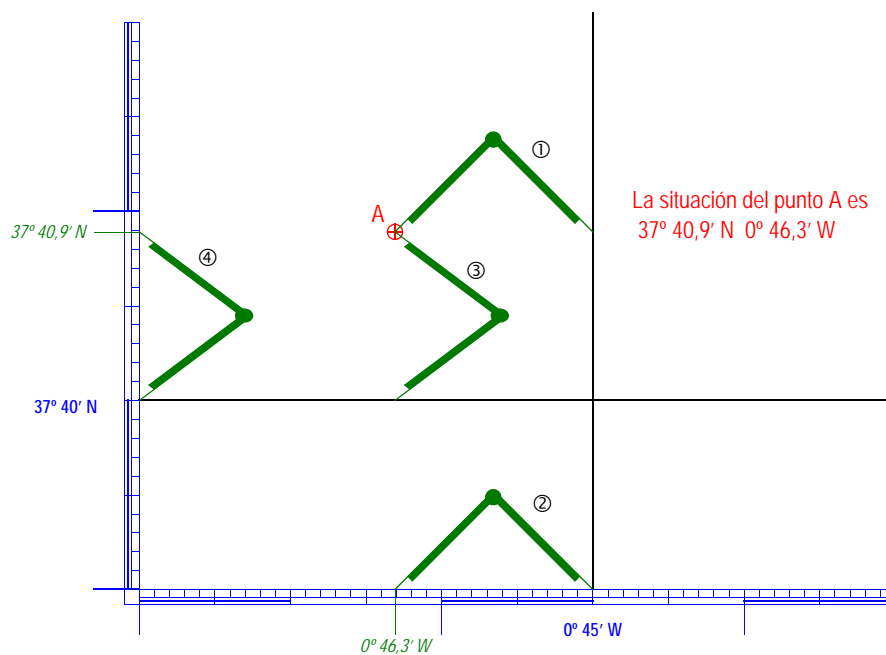


Figura 2.14. Forma de hallar las coordenadas de un punto.

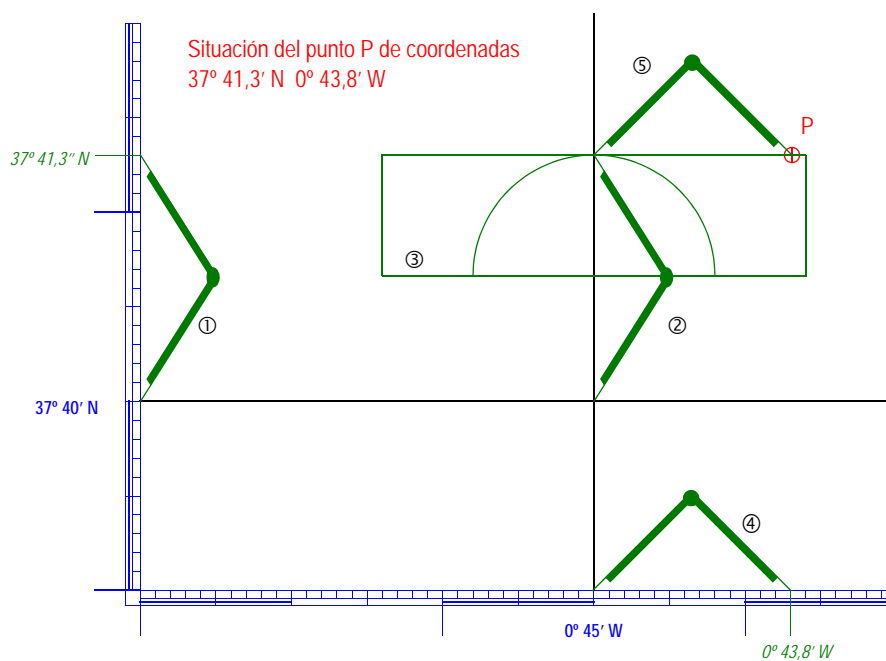


Figura 2.15. Forma de situar un punto dadas sus coordenadas.

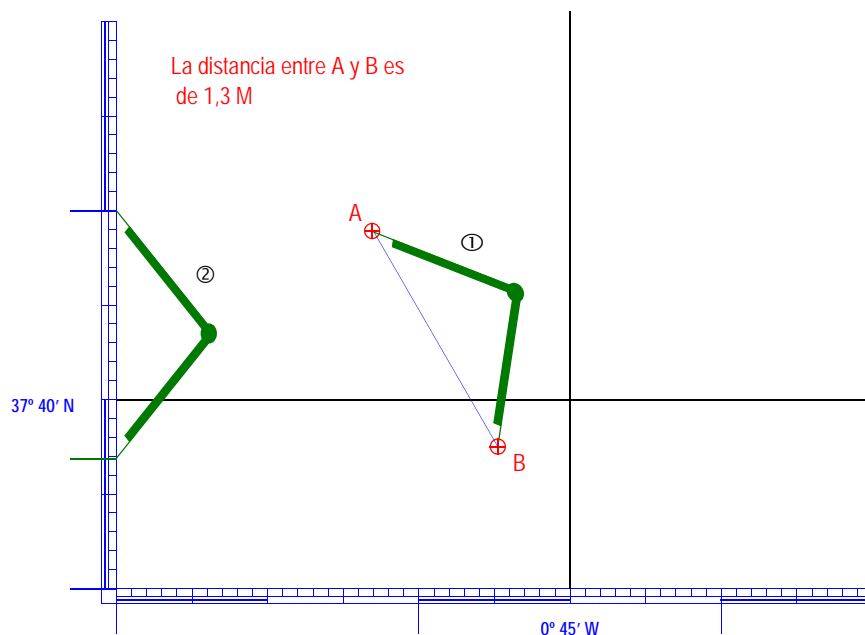


Figura 2.16. Medida de la distancia entre dos puntos.

Distancia entre dos puntos

Para medir la distancia entre dos puntos se coloca cada una de las puntas del compás sobre uno de los puntos (figura 2.16, 1), y se lleva la abertura correspondiente a la escala de latitudes más cercana (2). La distancia en millas entre los dos puntos es igual al intervalo de latitud en minutos que corresponde a la apertura del compás.

Hay que tener cuidado de que la parte de la escala que se utilice esté aproximadamente a la misma latitud que los puntos cuya distancia se desea medir, sobre todo si la carta abarca una gran diferencia de latitudes. En este caso, al variar de forma apreciable la escala con la latitud podríamos obtener un valor de la distancia falseado.

Para situar un punto a una distancia dada de otro se procede de forma inversa, midiendo primero la distancia sobre la escala de longitudes y llevándola después sobre la línea donde se desea situar el punto.

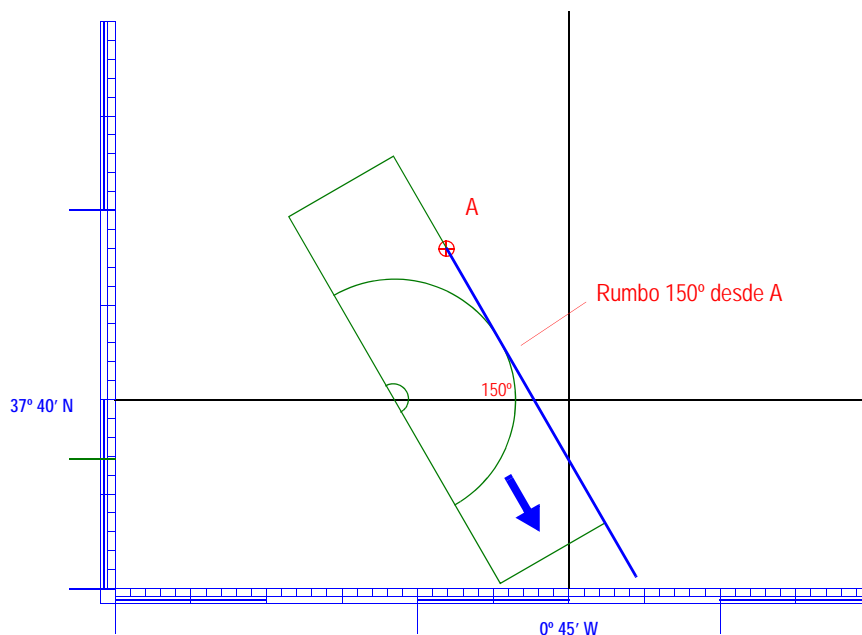


Figura 2.17. Trazado de rumbos y demoras.

Rumbos y demoras.

Trazar un rumbo o una demora a partir de un punto

Las líneas que forman un ángulo constante con la dirección Norte (loxodrómicas), como son los rumbos y demoras, se representan en la carta mediante rectas, como ya hemos visto. Para trazar la línea correspondiente a un rumbo o una demora dada pasando por un punto determinado se utiliza la regla-transportador, situando el centro de la escala de ángulos en un meridiano o paralelo, orientando el instrumento de forma que se lea la graduación correspondiente al rumbo sobre dicho meridiano o paralelo, y situando uno de los bordes sobre el punto (figura 2.17). En cualquier caso, es necesario familiarizarse con el instrumento que se utilice, y practicar en la mesa de cartas del barco para efectuar el trazado con soltura.

Medir el rumbo entre dos puntos

Para medir el rumbo entre dos puntos se procede de forma inversa: se coloca la regla-transportador de manera que su centro se sitúe sobre un meridiano o paralelo y su borde pase por ambos puntos. El rumbo se lee directamente sobre la escala del transportador. Como antes, es necesario practicar para efectuar esta operación con soltura.

Cartas electrónicas

Las cartas electrónicas contienen una información similar a las cartas tradicionales impresas en papel, pero están almacenadas en forma digital en un soporte electrónico o magnético adecuado para su lectura e interpretación por un computador. Este computador puede ser de tipo general (por ejemplo, un computador personal) o estar empotrado en un instrumento de navegación, como una pantalla de radar o un navegador por satélite. En todos los casos se usan diferentes formatos para la representación de los datos de las cartas, algunos de los cuales son *cerrados*, es decir sólo se pueden leer con los programas o instrumentos fabricados por una compañía determinada. Siempre que sea posible se deben preferir las cartas almacenadas en formatos *abiertos*, que se pueden leer con programas e instrumentos de distintos fabricantes.

Hay dos tipos de cartas digitales: las cartas *escaneadas* y las cartas *vectoriales*. Cada uno de estos tipos tiene sus ventajas e inconvenientes, aunque en general las cartas vectoriales son más precisas y fáciles de usar.

Tipos de cartas electrónicas

Cartas escaneadas

Las cartas escaneadas son reproducciones directas de las cartas de papel realizadas mediante un escáner o un aparato similar, que produce una imagen formada por una cuadrícula de puntos (*raster*). Su principal ventaja es que reproducen exactamente las cartas oficiales, por lo que en general se puede confiar en ellas, siempre que se mantengan al día. Otra ventaja es que son relativamente fáciles de construir, y que si se almacenan en un formato abierto se pueden ver en un computador mediante programas corrientes.

El principal inconveniente de las cartas escaneadas es que cuando se amplían no se consigue mayor detalle, e incluso se hacen visibles los puntos de la cuadrícula, perdiéndose calidad de imagen.

Cartas vectoriales

Las cartas *vectoriales*, de construcción más elaborada, representan cada elemento de la carta (línea de costa, peligros, balizas, faros, etc.) mediante una estructura de datos (*vector*) que contiene información sobre su situación, nombre, representación gráfica, etc. Los puntos que forman la imagen se forman sobre la marcha al ver la carta en un visor adecuado. De esta manera, al ampliar la carta no se pierde resolución, ya que los detalles que aparecen se vuelven a dibujar cada vez. Además, casi todos los visores permiten seleccionar los detalles que se ven, que se agrupan en distintas *capas*, por ejemplo (figura 2.18):

- Información básica: línea de costa, veril de seguridad (por ejemplo, 10 m), peligros aislados, balizas más importantes, etc.
- Información estándar: además de la anterior, línea de bajamar, canales, ayudas a la navegación (faros, balizas, etc.).
- Información completa: sondas en cada punto, nombres, y en general todos los detalles.

La principal ventaja de las cartas vectoriales es su precisión y versatilidad. Sin embargo, son más difíciles de obtener y, en general, más caras que las escaneadas.

Cartas electrónicas oficiales

Algunas organizaciones y empresas privadas comercializan cartas electrónicas de distintos tipos. Estas cartas no tienen carácter oficial y su uso no excluye la obligación de llevar a bordo cartas oficiales de la zona de navegación en papel. Por otra parte, la OHI ha definido unas normas (S-57) para realizar cartas electrónicas oficiales. Los servicios hidrográficos de cada país (en España el IHM) producen cartas digitales oficiales con arreglo a esta normativa, denominadas ENC. Estas cartas son la base de los sistemas de información y visualización de cartas electrónicas (ECDIS). La OHI ha definido unas características mínimas que deben cumplir los ECDIS para que su uso, junto con el de las cartas electrónicas oficiales, dispense de la obligación de llevar a bordo cartas y otros documentos en papel (ver también el capítulo 5).

La figura 2.18 contiene un ejemplo de carta ENC mostrada en un visor electrónico con distintos niveles de detalle.

Presentación básica



Presentación estándar



Presentación completa



Figura 2.18. Carta electrónica con distintos tipos de presentación.

Otras publicaciones náuticas

Derroteros

Los derroteros son libros en los que se describen todos los datos de interés para el navegante en una zona marítima determinada: vientos dominantes, corrientes, forma de la costa y puntos destacados de la misma, peligros, ayudas a la navegación, características y servicios de los puertos y fondeaderos, etc. Son un complemento indispensable de las cartas, y deben llevarse siempre a bordo los de las zonas por donde se navegue.

El Instituto Hidrográfico de la Marina publica derroteros para las zonas de navegación cercanas a la Península Ibérica. Las autoridades marítimas de otros países publican derroteros de distintas zonas del mundo, y algunas editoriales privadas publican también derroteros y guías náuticas especialmente adaptadas a la navegación de recreo, que pueden resultar extremadamente útiles.

La figura 2.19 muestra como ejemplo la descripción en el derrotero⁴ de una parte de la costa representada en la carta de la figura 2.10.

Bajos del Piles.—Son dos y el más próximo al cabo se encuentra en la oposición del faro con lo más alto de el Hormigón. Dicho bajo dista 1.125 m al 060° del citado faro y a 900 m de lo más saliente del cabo. Consiste en un cabezo de piedra con 7,6 m de profundidad mínima, rodeado de piedras cubiertas con 10 m de agua, todo sobre un banco también de piedra, en el que se cogen de 20 a 30 m de agua. El más saliente se halla a 1.350 m al 058° del faro del cabo y a 1.100 m de lo más saliente de dicho cabo; consiste en un cabezo de piedra con 9,5 m de profundidad mínima situado aproximadamente en la oposición del faro del cabo con el de la Hormiga; se extiende 200 m escasos del 056° al 236° con un ancho de 60 m, todo sobre un banco de piedra en el que se sonda 12, 15 y 18 m de agua.

Dichos cabezos, que forman entre sí una canal de 120 m de ancho y de 23 m de profundidad, son peligrosos para las embarcaciones de mucho calado que intenten pasar entre el bajo de Dentro de las Hormigas y el faro del cabo de Palos, que se hallan casi a la mitad de esta distancia.

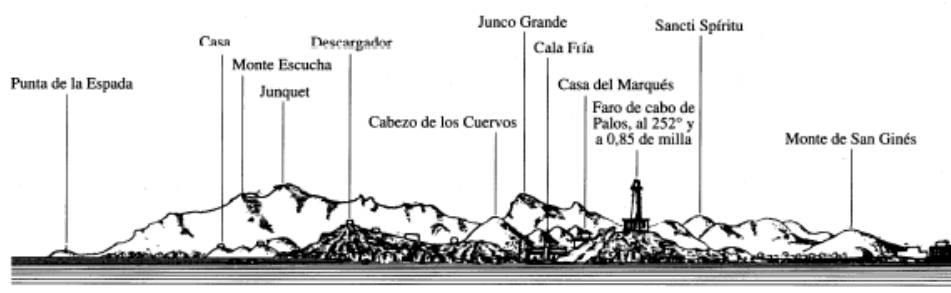


Figura 2.19. Descripción de la costa en el derrotero.

4. Derrotero nº 3, tomo I (1998), página 217.

Libro de faros

Los libros de faros describen en detalle la situación y las características de los faros y de todas las señales luminosas de una zona de costa determinada. Los libros de faros españoles describen también las señales acústicas que advierten de algunos peligros en caso de niebla.

El Instituto Hidrográfico de la Marina publica el libro oficial de *faros y señales de niebla* de España y las costas cercanas. La figura 2.20 muestra un ejemplo de la descripción que figura en el libro de faros, correspondiente al faro de Cabo de Palos (véase también las figuras 2.10 y 2.19).

El libro de faros contiene una descripción detallada de las características de los faros y una tabla de abreviaturas y signos. También contiene una tabla para determinar el alcance geográfico de un faro a partir de las alturas de la luz y del observador, y otra para calcular el alcance luminoso para distintas condiciones de visibilidad atmosférica.

Nº	Nombre	Lat- Long	Apariencia y período	El. (m)	Al. (M)	Descripción del soporte	Observaciones
23800 <i>E-0136</i>	CABO DE PALOS	37 38,2 0 41,3	GpD(2)B 10s	81	23	Torre cilíndrica gris 51	<i>L 0,3 oc 2,2 L 0,3 oc 7,2</i> <i>RC.Racon(M)</i>

Figura 2.20. Descripción de un faro en el libro de faros.

Libro de radioseñales

El *libro de radioseñales* editado por el Instituto Hidrográfico de la Marina describe las características de las estaciones de radioseñales útiles para la navegación, como radiofaros, estaciones de radar, balizas de radar, señales horarias, Consol, Decca, Loran, Omega y estaciones de servicio médico. La mayoría de estas señales están destinadas a buques de mayor porte y son de poca utilidad para la navegación de recreo.

Anuario de mareas

El *Anuario de mareas* es una publicación anual del Instituto Hidrográfico de la Marina en la que figuran las horas y alturas de las pleamares y bajamares en una serie de puertos de referencia, junto con tablas que permiten calcular la altura de la marea en otros puertos y horas. Su uso se describe con detalle en el capítulo 8.

Avisos a los navegantes

Los *avisos a los navegantes* son una publicación semanal, editada por el Instituto Hidrográfico de la Marina, que contiene todas las incidencias de interés para la navegación, así como las correcciones a otros documentos —cartas, derroteros, etc.— que sean necesarias para mantenerlos al día. El IHM edita también recopilaciones semestrales y anuales de los avisos a los navegantes.

Radioavisos

Los avisos a los navegantes de carácter urgente se emiten por radio. Los concernientes a alta mar se denominan *avisos NAVAREA zona 2* para el Atlántico y *zona 3* para el Mediterráneo. Los que se refieren a las zonas costeras se denominan *radioavisos costeros* y *radioavisos locales*. Los *AVURNAVES* son avisos urgentes a los navegantes, y se emiten también por radio.

Derrota e instrumentos de navegación

El conocimiento de la dirección hacia la que se navega, es decir del rumbo del barco¹, y de la distancia que recorre el barco, es fundamental en la navegación. Estas magnitudes se calcularon de forma aproximada durante miles de años a partir de la observación a simple vista de la costa, del Sol y de otros astros, y del movimiento del barco sobre el agua, que permite hacerse una idea de la velocidad del mismo. No obstante, fue el desarrollo progresivo de los instrumentos de navegación, sobre todo de la aguja náutica y de la corredera, lo que permitió obtener medidas precisas del rumbo y la velocidad. A partir de estas magnitudes se puede trazar en la carta la *derrota*, es decir la trayectoria seguida por el barco en su navegación, que en general está formada por una serie de tramos rectilíneos, durante los cuales se navega con un rumbo constante.

La información proporcionada por los instrumentos tradicionales (aguja o compás y corredera) se complementa con la que se obtiene de los navegadores por satélite, que también facilitan la medida de rumbos, velocidades y distancias recorridas. El uso de estos instrumentos se describe en el capítulo 5.

*La aguja náutica o compás**Fundamentos*

La *aguja náutica* o *compás* se utiliza sobre todo para medir el rumbo, aunque también se puede usar para tomar demoras² (ver capítulo 4). Es el instrumento de navegación por excelencia y el que más a menudo se consulta, ya que proporciona en todo momento una

-
1. Como vimos en el capítulo 1 (página 4), *rumbo* es el ángulo que forma la dirección que sigue el barco con la dirección Norte, medido en el sentido de las agujas del reloj.
 2. *Demora* es el ángulo que forma la visual a un objeto con la dirección Norte.

indicación fiable sin necesidad de alimentación eléctrica ni de ninguna otra fuente de energía.

El fundamento de la aguja náutica es bien conocido: una aguja imantada se orienta siempre en una dirección próxima al Norte, el *Norte magnético*, que coincide con la dirección del campo magnético terrestre (capítulo 1, página 6)³. Este fenómeno, conocido en China desde hace casi tres mil años, no se utilizó para construir agujas de navegar hasta bien entrada la Edad Media europea. Los primeros testimonios del uso de la aguja magnética en la navegación, tanto en el Extremo Oriente como en Europa y el Mediterráneo árabe, datan de finales del siglo XII. Los extraordinarios avances en la navegación que se registraron al final de la Edad Media no son ajenos, sin duda, a este descubrimiento.

Construcción

Los compases que se utilizan normalmente en los yates consisten en un conjunto de barras imantadas unidas a una pieza circular llamada *rosa*, que está situada sobre un pivote o estilo que le permite girar libremente. La rosa está graduada de 0° a 360°, con intervalos de 1 o 5°, según los casos. El conjunto está contenido en un recipiente de forma esférica llamado *mortero*, cuya parte superior o posterior, según los casos, es transparente para que se pueda ver la rosa. La línea de crujía del barco está representada por una *línea de fe* grabada en el mortero, sobre la que se lee el rumbo en la rosa.

Compases electrónicos

Los compases electrónicos proporcionan una indicación del rumbo en forma de señal eléctrica digital, que se puede leer directamente sobre una pantalla o utilizarse como señal de entrada para otros instrumentos, como el piloto automático. Constan de un *sensor* y de uno o más indicadores (figura 3.1).

El sensor es un dispositivo electromagnético que proporciona una señal eléctrica que depende de su posición respecto a la dirección del campo magnético. Los más comunes son de tipo *fluxgate*, basados en una combinación de bobinas dispuestas de una forma especial. A este dispositivo se une un computador que calcula el rumbo del barco a partir de la señal eléctrica obtenida.

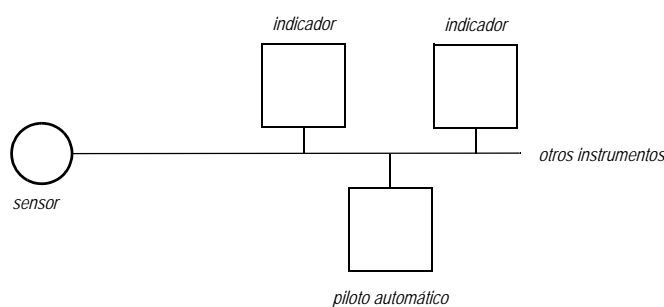


Figura 3.1. Conexión de un compás electrónico.

3. Recuérdese que el ángulo δ que forma el Norte magnético con el verdadero se llama *declinación magnética*.

El sensor de un compás electrónico se puede situar en cualquier parte del barco. Los indicadores, por su parte, se pueden situar donde sea más conveniente para que el timonel o el piloto puedan leer el rumbo fácilmente. El principal inconveniente de este tipo de compás es que necesita energía eléctrica para funcionar.

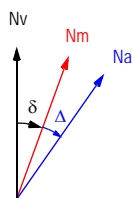


Figura 3.2. Norte verdadero, magnético y de aguja.

Desvío de la aguja.

La influencia de las masas metálicas que hay en el barco (motor, herrajes, instrumentos, altavoces, etc.) hace que en general la aguja no se dirija exactamente al Norte magnético, sino a otra dirección denominada *Norte de aguja*. El ángulo que forman el Norte magnético y el Norte de aguja se denomina *desvío* (figura 3.2). El desvío se suele representar con la letra griega Δ , y se considera positivo cuando el Norte de aguja está al E del Norte magnético, siendo negativo en caso contrario.

El desvío está causado por la magnetización de los elementos metálicos del barco al estar sometidos al campo magnético terrestre. Por tanto, su valor depende de la orientación del barco respecto a este campo, o lo que es lo mismo del rumbo del barco. La relación entre el rumbo y el desvío se representa mediante una *tablilla de desvíos* (figura 3.3), o mediante el gráfico correspondiente, denominado *curva de desvíos* (figura 3.4).

Figura 3.3. Ejemplo de tablilla de desvíos.

Ra	Δ	Rm	Ra	Δ	Rm
000°	+2,0	002°	180°	-1,0	179°
015°	+1,5	016,5°	195°	-1,5	193,5°
030°	+2,0	032°	210°	-2,0	208°
045°	+2,5	047,5°	225°	-2,5	222,5°
060°	+2,5	062,5°	240°	-2,0	238°
075°	+2,5	077,5°	255°	-2,0	253°
090°	+1,5	091,5°	270°	-1,5	268,5°
105°	+2,0	107°	285°	-0,5	284,5°
120°	0,0	120°	300°	0,0	300°
135°	-1,0	134°	315°	+0,5	315,5°
150°	-1,0	149°	330°	+1,0	331°
165°	-2,0	163°	345°	+2,0	347°

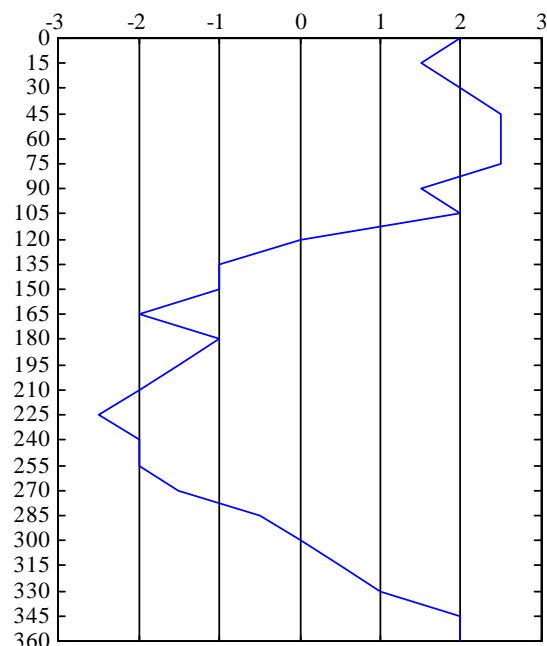


Figura 3.4. Curva de desvíos correspondiente a la tablilla de la figura 3.3.

La tablilla de desvíos es específica para cada barco, y debe volverse a calcular si se cambia de lugar la aguja o si se realizan cambios significativos en la situación o en la naturaleza de las masas metálicas del barco. Es muy importante, en cualquier caso, mantener la aguja lo más alejada posible de estas masas, y evitar que se le acerquen objetos metálicos, como herramientas, linternas o relojes, al leer el rumbo. Los compases electrónicos sufren también desvío, por lo que debe procurarse ubicar el sensor en un lugar donde el efecto de las masas metálicas del barco sea mínimo. La ubicación de los indicadores, por otra parte, es indiferente a estos efectos.

El valor de los desvíos se obtiene observando la diferencia entre el rumbo indicado por la aguja (rumbo de aguja) y el rumbo magnético, o entre el rumbo de aguja y el verdadero cuando se conoce éste. Hay varias formas de efectuar este tipo de medidas, aunque algunas de ellas no son adecuadas para barcos de reducido tamaño. En la página 62 se explica un método para obtener los desvíos mediante demoras tomadas con un compás auxiliar.

A partir de la tablilla de desvíos o de la curva de desvíos se obtiene el desvío para un rumbo de aguja o un rumbo magnético determinado interpolando entre los valores de la tabla. En general es suficiente aproximar al grado entero o medio grado más cercano, ya que la precisión del compás de gobierno de los yates rara vez es menor de 1° .

Ejemplo 3.1. En el barco al que corresponde la tablilla de desvíos de la figura 3.3, cuando se lee en la aguja el rumbo 070° el desvío es aproximadamente igual a $+2,5^\circ$.

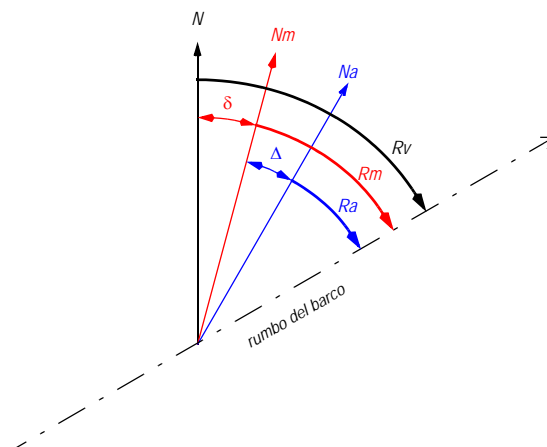


Figura 3.5. Rumbo de aguja, rumbo magnético y rumbo verdadero.

Corrección del rumbo

El rumbo indicado por el compás o *rumbo de aguja* debe corregirse de los efectos de la declinación magnética y el desvío. La relación entre el rumbo de aguja y el rumbo magnético (figura 3.5) viene dada por:

$$R_m = R_a + \Delta \quad (3.1)$$

Y la relación entre el rumbo magnético y el rumbo verdadero es:

$$R_v = R_m + \delta \quad (3.2)$$

Por tanto, la relación entre el rumbo de aguja y el rumbo verdadero es la siguiente:

$$R_v = R_a + \Delta + \delta = R_a + C_t \quad (3.3)$$

donde C_t es la *corrección total* de la aguja, igual a la suma algebraica del desvío y la declinación magnética. Recuérdese que todos los ángulos se consideran positivos cuando se miden en el sentido de las agujas del reloj.

La relación inversa permite calcular el rumbo de aguja que corresponde a un rumbo verdadero determinado:

$$R_a = R_v - C_t \quad (3.4)$$

Cuando se trabaja sobre la carta se emplean únicamente rumbos verdaderos. Por el contrario, el timonel se refiere siempre al rumbo de aguja. Teniendo en cuenta esto, se pueden usar las siguientes reglas nemotécnicas para recordar las ecuaciones anteriores:

Del timón a la carta, la corrección como marca (ecuación 3.3).

De la carta al timón, al revés la corrección (ecuación 3.4).

Ejemplo 3.2. Navegando al rumbo de aguja 035° en un lugar donde la declinación magnética para el año en curso es igual a $+3,5^\circ$, y suponiendo la tablilla de desvíos de la figura 3.3, interpolando se obtiene un valor aproximado del desvío $\Delta = +2,2$. Por tanto, la corrección total es:

$$Ct = +3,5^\circ + 2,2^\circ = +5,7^\circ \approx 6^\circ$$

y el rumbo verdadero es

$$Rv = 035^\circ + 6^\circ = \mathbf{041^\circ}$$

La corrección total se ha aproximado al grado más próximo, lo que es correcto teniendo en cuenta que la precisión de la lectura del rumbo en el compás de gobierno rara vez es menor de 2° .

Algunos compases electrónicos realizan estas correcciones de forma automática, una vez calibrados mediante una serie de medidas obtenidas navegando a distintos rumbos conocidos. En este caso la lectura del compás proporciona directamente el rumbo verdadero.

La corredera

La corredera es el instrumento que se utiliza para medir la velocidad del barco y, a veces, la distancia recorrida. A lo largo del tiempo se han utilizado distintos tipos de correderas. Las más antiguas consistían en una pieza de madera, la *barquilla*, que se arrojaba al agua, dejando filar una línea durante un tiempo determinado⁴, que se medía mediante un reloj de arena denominado *ampolleta*. Al quedar la barquilla prácticamente inmóvil mientras el barco avanza, la longitud de línea que se larga es igual a la distancia navegada por el barco. Conociendo ésta y el tiempo transcurrido es elemental calcular la velocidad del barco. Para facilitar este cálculo, la línea de la corredera llevaba unos nudos equidistantes⁵, de tal manera que la velocidad del barco en millas por hora era igual al número de nudos que se habían largado. Este es el origen del término *nudo* para designar la velocidad de una milla por hora.

Durante el siglo XIX la corredera de barquilla fue sustituida por la corredera mecánica, consistente en una hélice unida a una línea arrastrada por la popa del barco. La línea giraba solidariamente con la hélice, y accionaba un dispositivo mecánico que proporcionaba una indicación de la velocidad del barco.

Las correderas que se utilizan actualmente son electrónicas. Constan de un sensor situado en el exterior del casco, que tiene un dispositivo que produce una tensión eléctrica cuyo valor depende de la velocidad. Esta señal se lleva a un indicador digital, que proporciona una medida de la velocidad y de la distancia recorrida.

Coefficiente de corredera

Las correderas suelen tener errores, que hacen que las medidas de la velocidad y la distancia no sean exactas. El coeficiente de corredera, K , relaciona la velocidad medida con la real:

$$V_S = K \cdot V_C \quad (3.5)$$

4. Generalmente 30 segundos.

5. Un barco navegando a 1 milla por hora recorre 15,43 metros en 30 segundos, por lo que ésta es la distancia que hay que dejar entre dos nudos consecutivos.

donde V_C es el valor indicado por la corredera (velocidad de corredera) y V_S es la velocidad real del barco sobre la superficie del agua (velocidad de superficie). La relación entre la distancia indicada por la corredera y la distancia recorrida sobre la superficie viene dada igualmente por el coeficiente de corredera:

$$d_S = K \cdot d_C \quad (3.6)$$

Ejemplo 3.3. La velocidad que indica la corredera de un barco en un momento determinado es de 6,7 n. El coeficiente de la corredera es igual a 1,11. La velocidad de superficie, por tanto, es:

$$V_S = K \cdot V_C = 1,11 \cdot 6,7 = 7,4 \text{ n}$$

Para calcular el coeficiente de corredera se navega a un mismo rumbo sobre una distancia conocida, y se compara el valor de la distancia medida con la distancia real. Ésta se puede medir con un navegador por satélite, aunque también hay lugares de la costa donde se indica una distancia medida de forma precisa mediante marcas adecuadas. Estos dispositivos se conocen como *bases medidas*, y su situación se indica en los derroteros.

Para compensar el efecto de una posible corriente y disminuir los errores conviene efectuar el recorrido dos veces, en sentidos opuestos, y obtener la media de los valores hallados. En la práctica se opera de la siguiente forma:

1. Se recorre la distancia d en un sentido, tomando nota de la lectura de la corredera al comienzo y al final de la misma. Si los valores correspondientes son c_1 y c_2 , la distancia indicada por la corredera para este recorrido es $d_{C1} = c_2 - c_1$.
2. Se repite el recorrido en sentido inverso, anotando las lecturas de la corredera correspondientes, c_3 y c_4 . La distancia indicada por la corredera para este segundo recorrido es $d_{C2} = c_4 - c_3$.
3. El valor medio de la distancia medida en los dos recorridos es:

$$d_C = \frac{d_{C1} + d_{C2}}{2}$$

4. Si la distancia real navegada es d_B , el coeficiente de la corredera es igual a

$$K = \frac{d_B}{d_C}$$

Ejemplo 3.4. En un barco se ha recorrido dos veces una base medida de 1 milla. Las distancias indicadas por la corredera al comienzo y al final del primer recorrido son, respectivamente, 1345,3 M y 1346,2 M. Las lecturas correspondientes al segundo recorrido son 1346,5 M y 1347,8 M. Efectuamos el cálculo del coeficiente de corredera de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} d_{C1} &= 1346,2 - 1345,3 &= 0,9 \\ d_{C2} &= 1347,8 - 1346,5 &= 1,3 \\ d_C &= (0,9 + 1,3)/2 &= 1,1 \\ d_B &= &= 1,0 \\ K &= 1,0/1,1 &= 0,91 \end{aligned}$$

Por tanto, el coeficiente de corredera es igual a **0,91**.

En la mayoría de las correderas electrónicas este cálculo se puede efectuar automáticamente, para lo que hay que calibrar el instrumento navegando sobre una distancia conocida, de forma similar a la indicada anteriormente para calcular el coeficiente de corredera. Una corredera correctamente calibrada indica directamente la velocidad y la distancia de superficie, y no es necesario corregir sus indicaciones.

Efectos del viento y de la corriente sobre la derrota

Abatimiento y rumbo de superficie

Cuando un barco navega con viento lateral, el empuje del viento sobre el costado del barco provoca una desviación del rumbo del barco a sotavento, conocida como *abatimiento*. En este caso, la dirección seguida por el barco sobre la superficie del agua, denominada *rumbo de superficie*, R_s , no coincide con el rumbo verdadero, que indica la dirección a la que apunta la proa del barco. El abatimiento se mide mediante el ángulo Ab formado por el rumbo verdadero y el rumbo de superficie (figura 3.6). El ángulo de abatimiento se considera positivo cuando es a estribor (es decir, cuando el barco está amurado a babor), y negativo en caso contrario. Por tanto, la relación entre el rumbo de superficie y el rumbo verdadero es:

$$R_s = R_v + Ab \quad (3.7)$$

o, inversamente,

$$R_v = R_s - Ab \quad (3.8)$$

El ángulo de abatimiento es difícil de medir, ya que varía para cada barco en función de la dirección y la fuerza del viento. Los navegantes experimentados son capaces de estimarlo de forma aproximada en distintas condiciones de navegación.

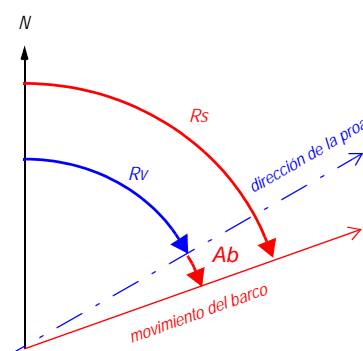


Figura 3.6. Rumbo verdadero y rumbo de superficie.

Ejemplo 3.5. Un barco navega a $R_v 132^\circ$, ciñendo amurado a estribor con un viento que provoca un abatimiento que se estima en 5° . El rumbo de superficie se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} R_v &= 132^\circ \\ Ab &= -5^\circ \quad (\text{Br}) \\ R_s &= 127^\circ \end{aligned}$$

Corrientes

El rumbo de superficie, obtenido corrigiendo la indicación del compás de gobierno de la declinación, el desvío y el abatimiento (ecuaciones 3.3 y 3.7), y la velocidad sobre la superficie, indicada directamente por la corredera, con la corrección de coeficiente si es necesario (ecuación 3.5), definen en todo momento el movimiento del barco sobre la superficie del agua. Si ésta se mantuviese inmóvil respecto a la Tierra, estas magnitudes proporcionarían información suficiente para conocer la derrota seguida por el barco, y por tanto para determinar en todo momento su situación y el rumbo que hay que seguir para llegar al destino. Sin embargo, en numerosas zonas de la Tierra la superficie de los mares se desplaza sobre la esfera terrestre debido a diversas causas. Las más frecuentes entre éstas son las diferencias de temperatura o densidad del agua entre distintas zonas, las variaciones en la presión atmosférica, el efecto del viento sobre la superficie, y la interacción de las mareas con los accidentes de la costa (ver capítulo 8). Estos movimientos reciben, en general, el nombre de *corrientes*. Algunas corrientes son permanentes, como las grandes corrientes oceánicas, entre las que se encuentran la corriente del Golfo y la de las Canarias. Otras presentan variaciones estacionales, y en algunos casos, como ocurre con las producidas por las mareas, cambian de dirección y velocidad continuamente, con diferencias notables dentro de un mismo día. Los derroteros y las cartas contienen información sobre las corrientes que se experimentan en las zonas marítimas a las que se refieren.

Rumbo e intensidad horaria de la corriente

Una corriente se caracteriza mediante dos parámetros: su *rumbo*, R_c , que es el ángulo que forma la dirección en la que se desplaza la corriente con el Norte, y su *intensidad horaria*, i_h , que es la velocidad de desplazamiento del agua con respecto a la Tierra, medida en nudos. Estos parámetros varían de un lugar a otro, y en un mismo lugar pueden variar según la época del año, la altura de la marea, o las condiciones meteorológicas.

Representación vectorial de la corriente

Un *vector* es una magnitud que se caracteriza por tener, además de un valor numérico, una dirección determinada. Se representa gráficamente mediante una flecha cuya longitud (*módulo*) es proporcional al valor de la magnitud, y cuya dirección (*argumento*) indica la del vector.

La corriente existente en un punto determinado se puede representar, por tanto, mediante un vector \vec{c} , cuyo módulo es igual a la intensidad horaria y cuyo argumento es el rumbo de la corriente (figura 3.7). Cuando se traza un vector corriente sobre una carta, el punto inicial o *punto de aplicación* del vector indica el lugar donde se registra la corriente que representa el vector.

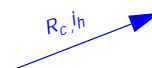


Figura 3.7. Vector corriente.

Rumbo y velocidad efectivos

El movimiento del barco sobre el fondo, es decir sobre la superficie terrestre fija, tiene dos componentes: el movimiento del barco sobre la superficie, caracterizado por el rumbo y la velocidad de superficie, y el movimiento de la superficie del mar sobre el fondo, que viene dado por el rumbo e intensidad horaria de la corriente. Si representamos el movimiento

sobre la superficie por un vector \vec{v}_s , y la corriente por otro vector \vec{c} , el movimiento del barco sobre el fondo se representa mediante el vector \vec{v}_e que se obtiene efectuando la *suma vectorial* de los que describen el movimiento sobre la superficie y la corriente:

$$\vec{v}_e = \vec{v}_s + \vec{c} \quad (3.9)$$

La suma de dos vectores se efectúa gráficamente, colocando uno a continuación de otro, y uniendo el origen del primero con el extremo del segundo (figura 3.8). El módulo del vector \vec{v}_s es igual a la velocidad de superficie, y su argumento es el rumbo de superficie. El vector \vec{v}_e se construye con la *velocidad efectiva* y el *rumbo efectivo*, que definen el movimiento del barco sobre el fondo.

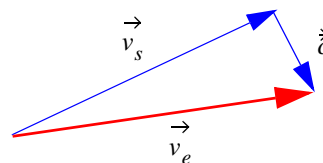


Figura 3.8. Velocidad de superficie, corriente y velocidad efectiva.

Ejemplo 3.6. En la figura 3.9 se representa una situación en la que se navega a $R_s = 065^\circ$ con $V_s = 7$ n en una zona de corriente con $i_h = 2$ n y $R_c = 170^\circ$. Realizando la suma vectorial del movimiento de superficie con la corriente se obtiene el vector que representa el movimiento efectivo. Midiendo sobre la carta se comprueba que:

$$R_e = 081^\circ$$

$$V_e = 6,7 \text{ n}$$

Como puede verse, la presencia de la corriente modifica tanto el rumbo como la velocidad efectivos del barco.

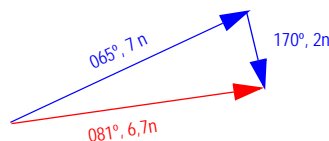


Figura 3.9. Efecto de la corriente sobre el rumbo y la velocidad.

Distancia navegada

Velocidad y distancia

Cuando un barco navega a una velocidad constante v durante un tiempo t recorre una distancia d que viene dada por la conocida fórmula

$$d = v \cdot t \quad (3.10)$$

en la que, si la velocidad se expresa en nudos y el tiempo en horas y fracciones de hora, el resultado es la distancia recorrida en millas.

Según que consideremos la velocidad de superficie o la efectiva, la fórmula anterior nos dará la distancia recorrida sobre la superficie del agua o sobre el fondo (distancia efectiva). Como es natural, ambos valores coinciden en ausencia de corrientes.

$$d_s = v_s \cdot t \quad (3.11)$$

$$d_e = v_e \cdot t \quad (3.12)$$

Ejemplo 3.7. Si se navega a 6,5 n durante 1h 25m, la distancia recorrida se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} t &= 1\text{h } 25\text{m} \\ &= 1\text{h} + 25/60 \text{ h} \\ &= 1,41\text{h} \\ v &= 6,5 \text{ n} \\ d &= 6,5 \cdot 1,41 = 9,16 \text{ M} \end{aligned}$$

Por tanto, la distancia navegada es igual a **9,16 M**.

Trabajo sobre la carta

Trazado de la derrota

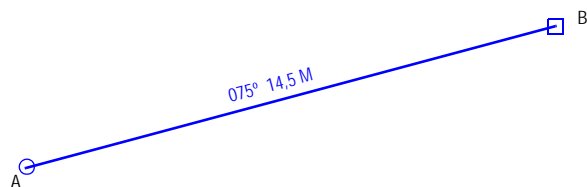
La derrota seguida por un barco que se desplaza con rumbo y velocidad constantes a partir de una situación conocida se puede representar mediante un segmento recto trazado a partir de la situación de partida, cuya longitud es la distancia recorrida, y que forma con la dirección Norte un ángulo igual al rumbo del barco⁶. El otro extremo de la línea de derrota coincide con la situación final, siempre que se hayan utilizado los valores efectivos de rumbo y velocidad (figura 3.10a).

En caso de haber corriente se puede trazar la derrota efectiva calculando primero la velocidad y el rumbo efectivos, pero en general es más sencillo trabajar directamente sobre la distancia navegada. Para ello se traza primero la derrota de superficie, como antes, y se lleva después al extremo de la misma la *deriva* debida a la corriente. La deriva sigue una dirección igual al rumbo de la corriente, sobre una distancia igual a la intensidad de la corriente multiplicada por el tiempo que dura el desplazamiento (figura 3.10b). Este procedimiento equivale a efectuar la suma vectorial del desplazamiento sobre la superficie y la deriva:

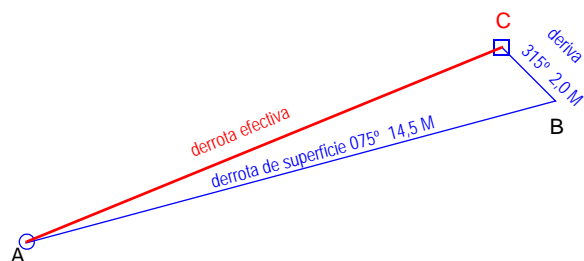
$$\vec{d}_e = \vec{d}_s + \vec{d}_c \quad (3.13)$$

donde $\vec{d}_s = \vec{v}_s \cdot t$ y $\vec{d}_c = \vec{i}_h \cdot t$.

6. Obsérvese que se trata de una representación vectorial de la derrota. El módulo del vector es la distancia recorrida, y su argumento es igual al rumbo.



a) Derrota en ausencia de corriente.



b) Derrota con corriente.

Figura 3.10. Trazado de la derrota.

Ejemplo 3.8. Un barco navega a partir de un punto A (figura 3.10a) a 5,8 n con rumbo de superficie 075° durante 2h 30m, en una zona sin corrientes. La distancia recorrida es $d = 5,8 \cdot 2,5 = 14,5$ M.

Al no haber corriente la distancia y el rumbo de superficie coinciden con los efectivos, por lo que la situación final viene dada por el punto B en la figura.

Ejemplo 3.9. En el ejemplo anterior, supongamos ahora que en la zona de navegación hay una corriente de $I_h = 0,8$ n y $R_c = 315^\circ$. Durante el tiempo que dura la navegación la corriente produce una deriva $d_c = 0,8 \cdot 2,5 = 2$ M en dirección 315° . Si componemos esta deriva con el desplazamiento efectuado sobre la superficie, obtenemos como situación final el punto C en vez del B anterior (figura 3.10b).

Rumbo hacia un punto

El rumbo de un punto a otro que se mide en la carta (ver página 29) es siempre el rumbo efectivo, por lo que si se desea calcular el rumbo de aguja que debe seguir el timonel hay que corregirlo de los efectos de la declinación y el desvío (ecuación 3.4) y, en su caso, del abatimiento previsto (ecuación 3.8) y de la corriente (mediante una construcción gráfica similar a la de la figura 3.10, que se explica más adelante).

Ejemplo 3.10. Estando situados frente al puerto de Moraira se desea navegar hasta Cala Sahona, en Formentera (figura 3.11). El rumbo medido en la carta es 088° .

La rosa de la carta contiene la siguiente indicación, referida a la declinación magnética:

$1^\circ 20' 1997$ (10° E)

Suponiendo que no hay corriente ni abatimiento, y que la curva de desvíos del barco es la de la figura 3.4, el rumbo de aguja que hay que seguir se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{array}{llll} dm & = & -1^\circ 20' & (1997) \\ dif & = & +1^\circ 00' & (6 \text{ años} \times 10' \text{ E}) \\ dm & = & -0^\circ 20' & (2003) \\ & \cong & -0,3^\circ & \\ \Delta & = & +1,5^\circ & (\text{figura 3.4}) \\ Ct & = & +1,2^\circ & \\ Re & = & 088^\circ & (\text{de la carta}) \\ Rv & = & 088^\circ & (\text{por no haber corriente ni abatimiento}) \\ Ct & \cong & -(+1^\circ) & (\text{redondeado al medio grado, se resta para pasar a Ra}) \\ \mathbf{Ra} & = & \mathbf{087^\circ} & \end{array}$$

Por tanto, el rumbo de aguja que se debe seguir es 087° .

Ejemplo 3.11. Se prevé efectuar la travesía del ejemplo anterior con viento N de 18 n, que se estima que dará lugar a un abatimiento de 5° .

El abatimiento es positivo, pues al desplazarse el barco aproximadamente hacia el Este abatirá hacia estribor con viento del Norte.

Para calcular el rumbo de aguja en estas condiciones se efectúan las siguientes operaciones:

$$\begin{array}{llll} Re & = & 088^\circ & (\text{de la carta}) \\ Rs & = & 088^\circ & (\text{por no haber corriente}) \\ Ab & = & -(+5^\circ) & (\text{se resta por pasar de la carta al timón}) \\ Rv & = & 083^\circ & \\ Ct & \cong & -(+1^\circ) & (\text{redondeado al medio grado, se resta para pasar a Ra}) \\ \mathbf{Ra} & = & \mathbf{082^\circ} & \end{array}$$

Por tanto, el rumbo que se seguirá en estas condiciones es 082° .

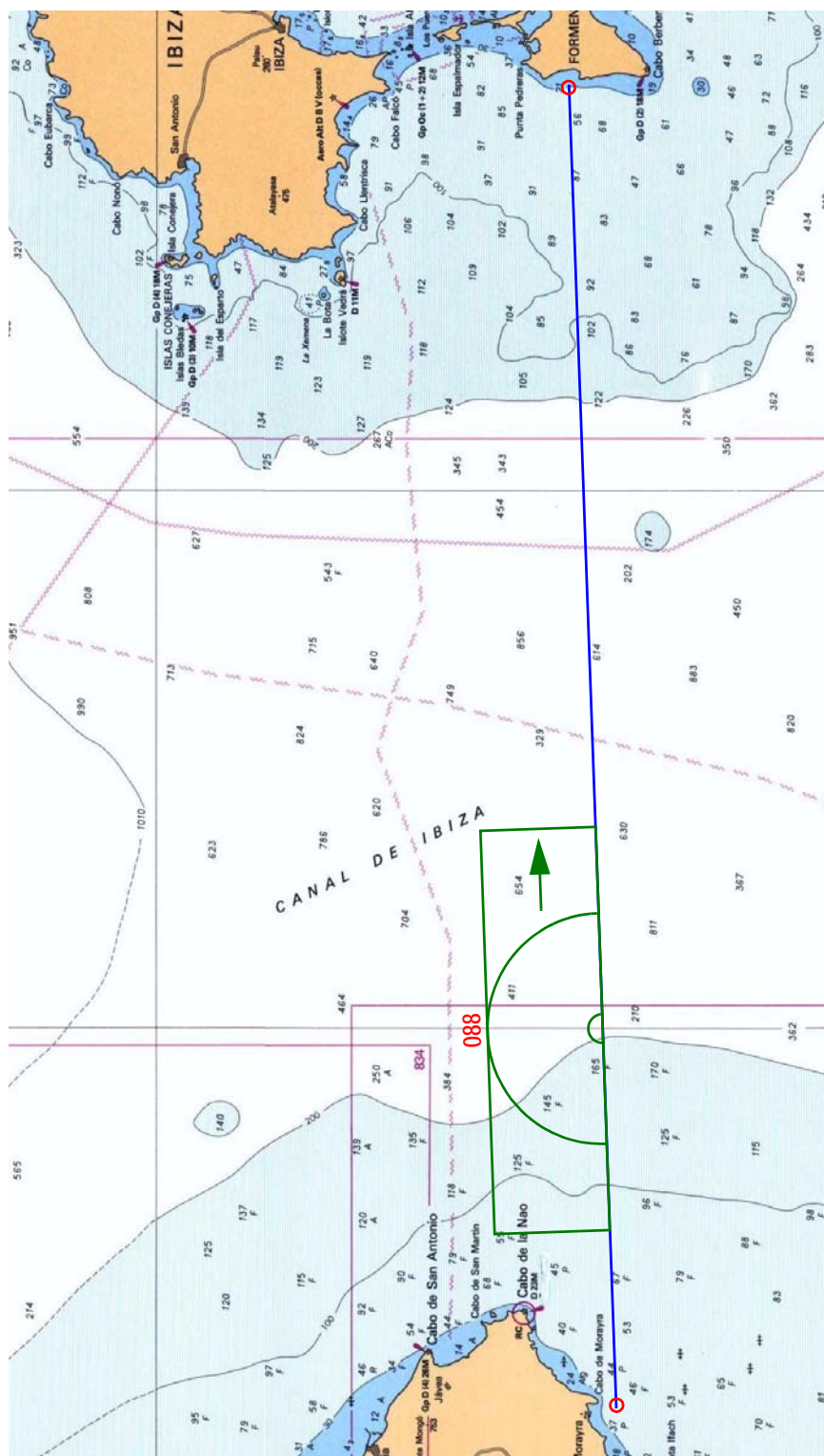


Figura 3.11. Derrota de Moraira a Cala Sahona.

Para corregir el rumbo del efecto de la corriente es necesario tener una estimación de la velocidad de superficie que se va a llevar. Esta corrección se efectúa gráficamente según el siguiente procedimiento (figura 3.12):

1. Se traza una línea recta en la dirección del rumbo efectivo que se desea seguir y con origen en la situación de partida (A).
2. Se traza otra recta con el mismo origen en la dirección del rumbo de la corriente, y se marca sobre esta línea un punto B situado a una distancia de A igual a la intensidad horaria de la corriente.
3. A partir de B se traza un arco con radio igual a la velocidad de superficie del barco, que cortará a la línea que indica el rumbo de superficie en C.
4. La línea BC indica el rumbo de superficie que se ha de seguir. El rumbo de superficie se corregirá de abatimiento, declinación y desvío, tal como se ha visto anteriormente, para obtener el rumbo de aguja que debe seguir el timonel.

Ejemplo 3.12. En el ejemplo anterior se desea tener en cuenta el efecto de una corriente de rumbo 200° e intensidad horaria igual a $1,5 \text{ n}$, que afecta a la derrota del barco en toda la travesía. En las condiciones de navegación previstas se estima que el barco desarrollará una velocidad de superficie de $5,5 \text{ n}$.

La figura 3.12 muestra la construcción gráfica para el cálculo del rumbo de superficie. Midiendo en el gráfico la dirección del segmento BC se obtiene un rumbo de superficie igual a 073° . El resto del cálculo se realiza como en el ejemplo anterior:

$$\begin{array}{rcll} \text{Re} & = & 088^\circ & \text{(de la carta)} \\ \text{Rs} & = & 073^\circ & \text{(figura 3.12)} \\ \text{Ab} & = & -(+5^\circ) & \text{(se resta por pasar de la carta al timón)} \\ \text{Rv} & = & 068^\circ & \end{array}$$

Ahora hay que tener en cuenta que el rumbo es muy diferente del que teníamos en los ejemplos anteriores. Para este rumbo verdadero el desvío es igual a $+2,5^\circ$ (figura 3.4), y la corrección total es

$$\begin{array}{rcll} \text{dm} & \cong & -0,3^\circ & \\ \Delta & = & +2,5^\circ & \text{(figura 3.4)} \\ \text{Ct} & = & +2,2^\circ & \end{array}$$

y, por tanto, el rumbo de aguja es:

$$\begin{array}{rcll} \text{Rv} & = & 068^\circ & \\ \text{Ct} & \cong & -(+2^\circ) & \text{(redondeado al medio grado, se resta para pasar a Ra)} \\ \text{Ra} & = & 066^\circ & \end{array}$$

Por tanto, en estas condiciones hay que hacer un rumbo de aguja igual a 066° .

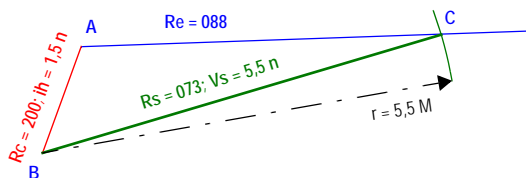


Figura 3.12. Corrección del efecto de la corriente.

Rumbo para pasar a una distancia de un punto

Frecuentemente lo que se necesita es hacer rumbo para pasar a una cierta distancia de un punto, en vez de hacer rumbo directo a él. Esto ocurre, por ejemplo, cuando se desea dar resguardo a un accidente de la costa (un cabo, por ejemplo), o a un peligro aislado, como una piedra o un pecio. En este caso el rumbo efectivo se mide en la carta trazando una recta tangente a una circunferencia con centro en el punto y radio igual a la distancia a la que se desea pasar, con origen en la situación de partida (figura 3.13). El rumbo efectivo así medido se corrige del mismo modo que hemos visto anteriormente para obtener el rumbo de aguja, que en cualquier caso es el que debe seguir el timonel.

Ejemplo 3.13. Estando situados en un punto A (figura 3.13) se desea hacer rumbo para pasar a 1 milla de un peligro X. Trazamos una circunferencia con centro en X y radio igual a 1 M, y una recta tangente desde A a esta circunferencia. Midiendo en la carta se obtiene un rumbo efectivo de 047°. Suponiendo que no hay corriente ni abatimiento, y que la corrección total es igual a +2°, resulta un rumbo de aguja:

$$\begin{aligned} Re &= 047^\circ = Rs = Rv \\ Rv &= 047^\circ \\ Ct &\equiv -(+2^\circ) \quad (\text{se resta para pasar a Ra}) \\ Ra &= 045^\circ \end{aligned}$$

El rumbo de aguja que hay que seguir es 045°.

En el caso de un peligro aislado se debe decidir por qué lado del mismo se desea pasar, y se trazará la tangente a la circunferencia por el lado correspondiente.

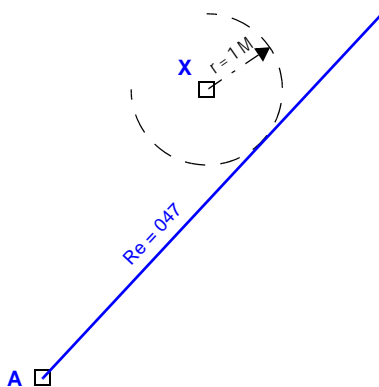


Figura 3.13. Rumbo para pasar a una distancia dada de un punto.

Introducción

La navegación que se efectúa a la vista de la costa tiene la ventaja de contar con puntos de referencia fijos, situados sobre la cosa o cerca de ella y fácilmente visibles desde la mar. Sin embargo, a menudo la visión de uno de estos puntos de referencia es insuficiente para determinar por sí sola la situación del barco, y es necesario utilizar varias referencias con este fin. La mayoría de las técnicas de navegación costera se basan en el concepto de *línea de posición* o *línea de situación*. Una línea de posición es una línea trazada en la carta que tiene la propiedad de que el barco se encuentra en algún punto de ella en un momento determinado. Por ejemplo, si desde el barco observamos un objeto de la costa con una demora determinada, el lugar geométrico de todos los puntos desde los que se ve el objeto con esa demora es una línea recta, que constituye una línea de posición sobre la que forzosamente nos encontramos.

Para poder situarnos y determinar cuál es la derrota más adecuada en las cercanías de la costa es necesario, pues, tomar como referencia objetos o lugares característicos de la costa, que se puedan identificar sin lugar a dudas y que estén situados con exactitud en las cartas de que dispongamos. En general los faros y otras ayudas a la navegación fijas constituyen las mejores referencias. Sus características se describen detalladamente en el *Libro de faros* (página 33), y son visibles y fáciles de identificar tanto de día como de noche, siempre que las condiciones atmosféricas lo permitan. Por el contrario, las balizas y otras marcas flotantes sólo deben utilizarse como referencias para navegar por canales o evitar los peligros que señalan, pero no para obtener situaciones precisas, ya que en algunas circunstancias incluso un ligero desplazamiento de su situación puede conducir a errores notables de situación. En cuanto a las marcas naturales, como montañas, piedras u otros accidentes geográficos, sólo deben utilizarse si presentan un punto de referencia nítido, como la cima de una montaña o el canto de un cabo o de una isla, están perfectamente identificados, y se pueden situar en la carta sin ambigüedad. Los edificios de construcción moderna raras veces se pueden utilizar como referencia, ya que a menudo se confunden unos con otros, y no suelen estar reflejados en las cartas. También hay que tener en cuenta, como es natural, el conocimiento que tengamos de la zona por donde se navega y la visibilidad de que dispongamos en cada momento.

Líneas de posición

Una *línea de posición* es, como hemos visto, una línea trazada en la carta que tiene la propiedad de contener la situación donde nos encontramos en un momento determinado. Las líneas de posición más utilizadas en la navegación costera se construyen a partir de las *demoras* con que se ven determinados puntos de la costa, o de las *enfílaciones* de dos puntos, que se ven alineados.

Líneas de demora

La demora de un objeto visible es el ángulo horizontal D que forma la línea visual dirigida a él desde el barco con la dirección Norte (figura 4.1). La demora con la que se observa un punto fijo permite trazar una línea de posición (*línea de demora*), sobre la cual se encuentra el barco en el momento de hacer la observación. Esta línea es una recta que pasa por el punto observado y sigue la dirección de la demora.

Para trazar una línea de demora sobre la carta, se dibuja una recta desde el punto P que, vista desde ese punto, forme un ángulo igual a $D \pm 180^\circ$ ¹ (figura 4.1). Muchos transportadores náuticos tienen una escala doble que permite trazar esta recta midiendo directamente sobre la escala el valor de D (figura 4.2).

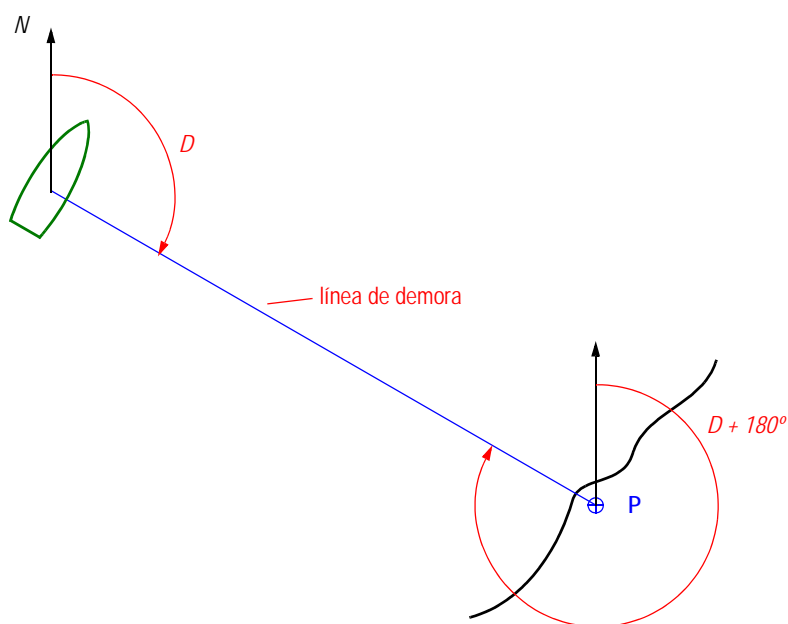


Figura 4.1. Demora de un punto y línea de demora correspondiente.

1. Se tomará el signo positivo o negativo en esta expresión según que el valor de la demora sea menor o mayor de 180° , respectivamente.

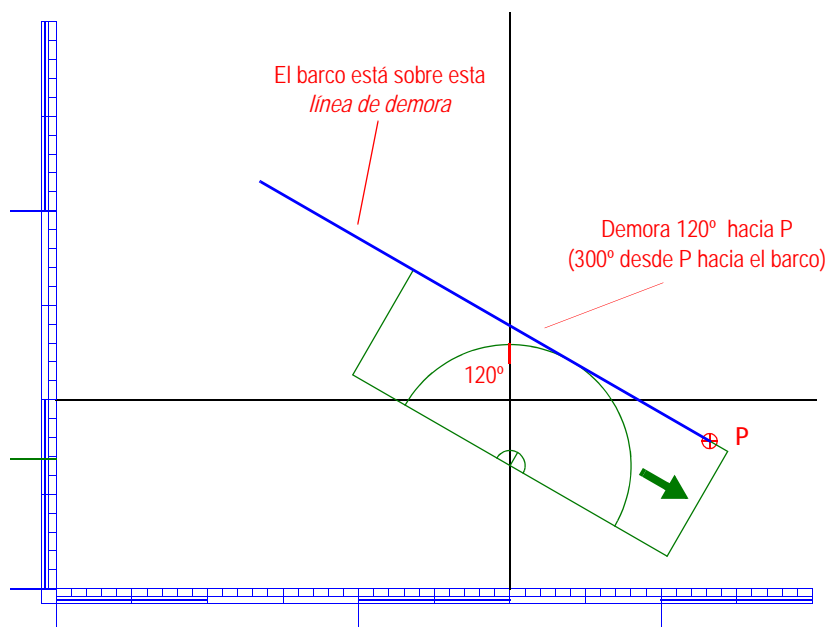


Figura 4.2. Trazado de una línea de demora sobre la carta.

Compás de demoras

Fundamentos

Este tipo de aguja, llamado también *compás de marcación*, se utiliza en los barcos de recreo para medir demoras. Los compases de demoras que se usan en los yates son de construcción similar a los compases de gobierno², aunque más ligeros, de forma que se pueden tomar en la mano y llevarlos a la altura del ojo para medir la demora. Para ello están dotados de una *alidada*, que es un dispositivo que sirve para apuntar al objeto y leer la demora correspondiente en la rosa del compás. La graduación de ésta suele tener una resolución de 1°, aunque es difícil obtener esta precisión en la medida a causa de los movimientos del barco.

2. Página 36.

Correcciones

Las agujas de demoras, como todas las agujas magnéticas, apuntan al norte magnético, por lo que habrá que corregir la lectura de aguja con el valor de la declinación magnética en el lugar y tiempo en que se hace la medida. Por el contrario, el hecho de que se puedan trasladar de un sitio a otro hace que no sea práctico tener en cuenta los desvíos de la aguja, ya que éstos dependen de la situación del compás con respecto a las masas metálicas del barco, que es variable. Lo mejor es buscar un lugar en el barco donde no haya desvíos apreciables y tomar las demoras desde allí. Para comprobar que el lugar elegido (lejos del motor y de otras masas metálicas) se puede tomar la demora de un mismo objeto navegando a varios rumbos. Si la lectura es sensiblemente la misma se puede asegurar que el desvío es despreciable.

En estas condiciones la demora de aguja es sensiblemente igual a la demora magnética (figura 4.3), y las ecuaciones que relacionan la demora verdadera con la demora de aguja son:

$$D_v = D_m + \delta = D_a + \delta \quad (4.1)$$

$$D_a = D_m = D_v - \delta \quad (4.2)$$

Por supuesto, si el desvío es apreciable y conocido hay que corregirlo también, de forma similar a como se hace en las ecuaciones 3.3 y 3.4.

Como ocurre con el rumbo, en la carta se manejan únicamente demoras verdaderas.

Ejemplo 4.1. Navegando en un lugar donde la declinación magnética del año en curso es igual a $+2,0^\circ$ se mide la demora de un punto destacado P en tierra, $D_a = 118^\circ$. Suponiendo que el compás no tiene desvío apreciable, la demora verdadera es

$$D_v = 118^\circ + 2^\circ = 120^\circ$$

En este caso se aproxima el valor de la demora al grado o medio grado más cercano, ya que la lectura del compás de marcación suele ser más precisa que la del compás de gobierno.

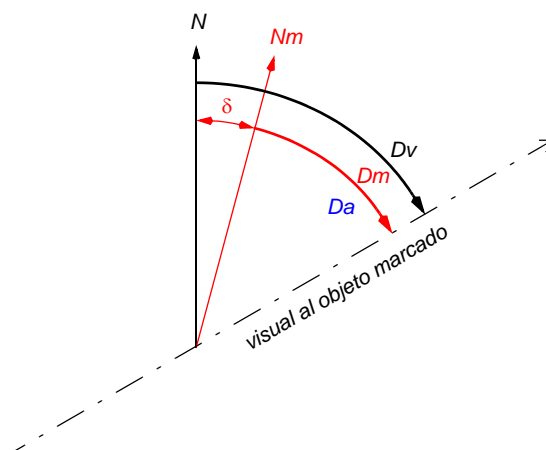


Figura 4.3. Demora verdadera y demora magnética o de aguja.

Enfilaciones

A veces se pueden observar dos puntos de referencia alineados (figura 4.4). En este caso, el barco se encuentra sobre la recta que une ambos puntos, que constituye una línea de posición que recibe el nombre de *enfilación*. Los puntos enfilados tienen la misma demora (figura 4.4).

Para trazar un enfilación sobre la carta se dibuja una recta que pasa por los dos puntos enfilados. En caso de ambigüedad (si los puntos son visibles en los dos sentidos posibles), se determina en qué semirrecta se encuentra el barco reconociendo otros accidentes de la costa o tomado la demora de los puntos enfilados.

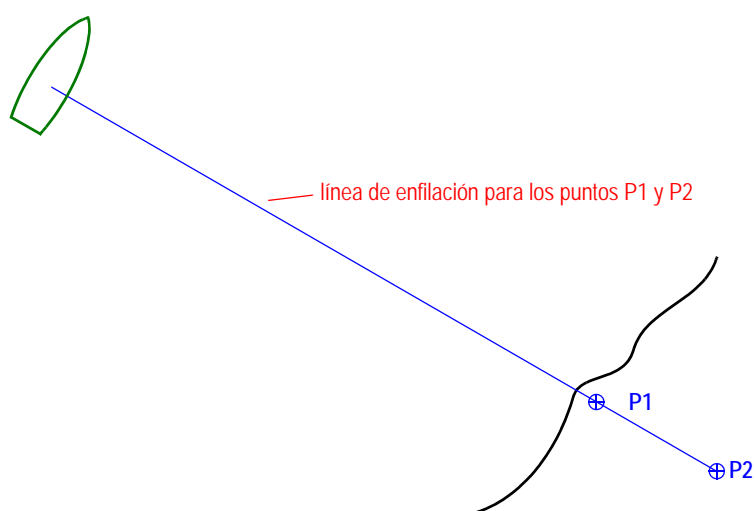


Figura 4.4. Enfilación .

Uso de las líneas de posición para determinar la derrota

Las líneas de posición sirven, en primer lugar, para conseguir que la navegación se efectúe de forma segura, apartándose de los peligros (por ejemplo, bajos y piedras) que suele haber en las cercanías de la costa. También se pueden utilizar para situar el barco en un canal navegable, para fijar el momento en que hay que efectuar un cambio de rumbo y, en general, para escoger la derrota más conveniente en la navegación costera.

Líneas de posición y peligros

Una línea de posición divide la carta en dos partes. Podemos aprovechar esta propiedad para conseguir que el barco siempre se encuentre en una zona libre de peligros y, por tanto, navegue con seguridad.

Ejemplo 4.2. La figura 4.5 muestra una parte de la costa donde hay diversos peligros. Partiendo del faro F se puede trazar una línea F-F', que separa la zona P donde se encuentran los peligros de la zona segura S donde se puede navegar libremente. Como la demora de esta línea, vista en dirección al faro, es de 20° , siempre que nos encontremos en la zona S se observará el faro con una demora menor de 20° , mientras que en la zona P la demora será siempre mayor que este valor. Por tanto, para evitar los peligros bastará con navegar procurando siempre que el faro se observe con una demora menor de 20° .

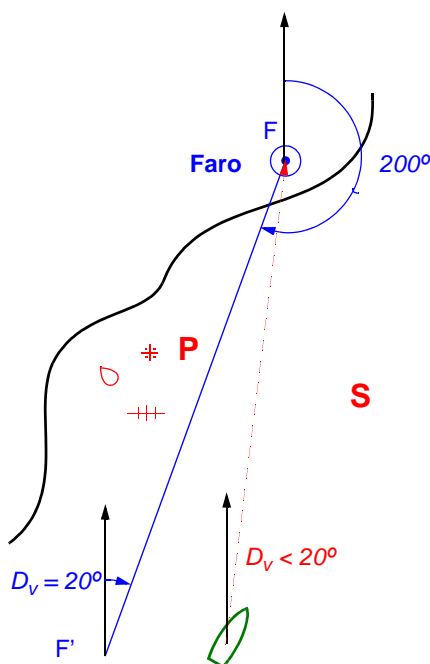


Figura 4.5. Uso de una línea de demora para evitar una zona peligrosa.

Enfilaciones

Como es natural, también se pueden utilizar enfilaciones para evitar los peligros. De hecho, este tipo de línea de posición es más útil para este fin que las líneas de demora, ya que las enfilaciones se pueden observar a simple vista, sin necesidad de ningún instrumento. Por otra parte, a menudo es difícil encontrar enfilaciones adecuadas, aunque en algunos casos los servicios hidrográficos incluyen en las cartas o en los derroteros algunas enfilaciones útiles. A veces incluso se construyen marcas artificiales en los lugares adecuados para formar enfilaciones que permitan evitar los peligros o enfilar un canal estrecho. En este caso las marcas suelen tener luces para marcar la enfilación también de noche.

Ejemplo 4.3. La figura 4.6 muestra una enfilación que se puede usar para evitar el bajo B. Mientras el faro F se vea separado por la derecha del canto occidental del islote I nos encontramos en zona segura.

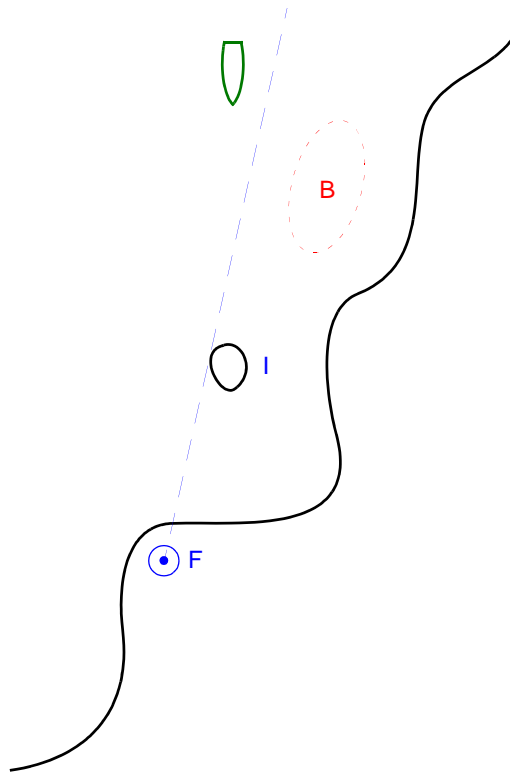


Figura 4.6. Uso de una enfilación para evitar un peligro.

Faros con sectores

Los faros con sectores son faros cuya luz presenta distinta apariencia según la dirección desde donde se observe. Cada una de las zonas donde se ve la luz con unas características determinadas tiene forma de sector circular (figura 4.7). Estos sectores se definen de forma que marquen la situación de los peligros según el color y las demás características de la luz que se observa desde un barco.

Ejemplo 4.4. La figura 4.7 muestra un faro con cuatro sectores: un sector oscuro, dos sectores blancos, y un sector rojo que indica la presencia de un bajo. En este caso navegaremos seguros siempre que veamos la luz de color blanco. Obsérvese que las demás características del faro (período y fases) se mantienen iguales en todos los sectores visibles. En este caso se trata de una luz de destellos, separados en dos grupos de 1 y 2 destellos, respectivamente, con un período de 30s. La altura de la luz es de 86 m sobre el nivel medio del mar, y el alcance luminoso de la luz es de 17 M.³

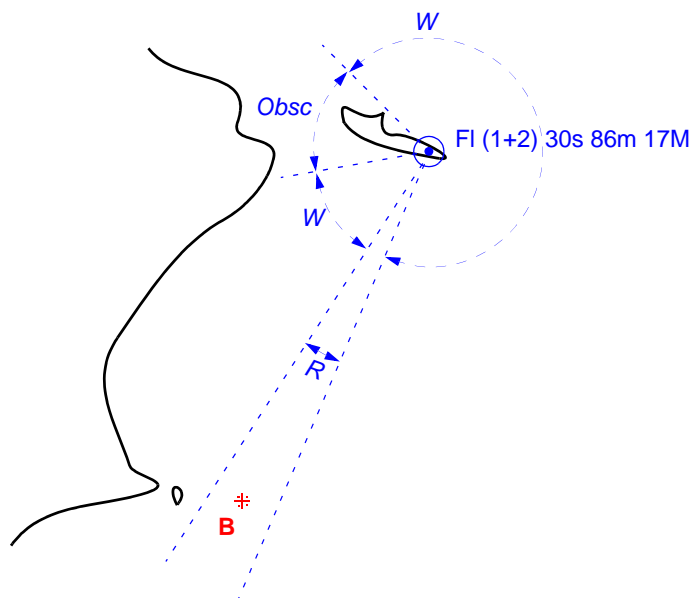


Figura 4.7. Sectores de un faro que señalan un peligro.

- La figura reproduce de forma esquemática una parte de la costa E de Ibiza, con el faro de Tagomago y la Losa de Santa Eulalia. Se ha simplificado la línea de la costa y se han eliminado todos los detalles que no están relacionados con el ejemplo.

Situación mediante líneas de posición

Situación mediante dos demoras o enfilaciones

Si desde el barco se observa un punto de referencia con una demora determinada, la línea de demora correspondiente es el lugar geométrico de todos los puntos desde donde se observa dicho punto con la misma demora. Por tanto, en el momento de efectuar la observación el barco se encuentra necesariamente en algún punto de esta línea. Lo mismo cabe decir de una enfilación: en el momento de observar dos puntos enfilados, el barco se encuentra en algún punto de la línea de enfilación correspondiente trazada sobre la carta. Por tanto, una línea de posición es un lugar geométrico de todos los puntos donde se puede encontrar el barco en el momento de efectuar la observación correspondiente.

Si se efectúan dos observaciones —demoras o enfilaciones— de forma simultánea, podemos concluir que el barco se encuentra en la intersección de las respectivas líneas de posición, ya que se encuentra simultáneamente en algún punto de cada una de ellas. Este es el fundamento de la situación mediante dos demoras, mediante una demora y una enfilación, o mediante dos enfilaciones simultáneas.

Ejemplo 4.5. En un momento determinado observamos simultáneamente un punto A de la costa con $Da = 023^\circ$, y otro punto B con $Da = 149^\circ$. La declinación magnética en la zona de la observación es $dm = 2^\circ W$.

A:	$Da = 023^\circ$	B:	$Da = 149^\circ$
	$dm = -2^\circ$		$dm = -2^\circ$
	$Dv = 021^\circ$		$Dv = 147^\circ$

La situación del barco es el punto S, intersección de las dos líneas de demora AA' y BB' (figura 4.8).

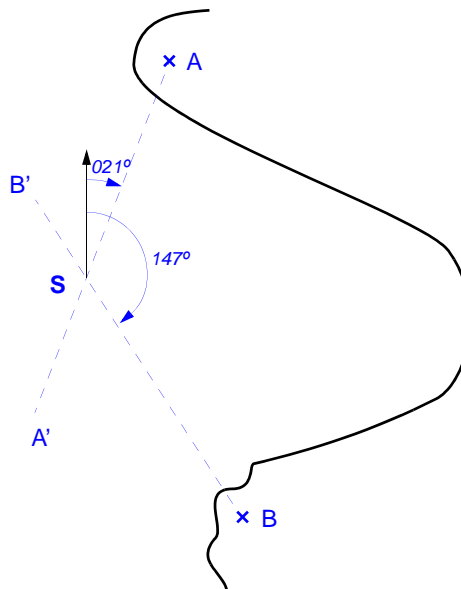


Figura 4.8. Situación mediante dos demoras.

Errores

Las situaciones obtenidas mediante líneas de posición están sujetas a errores, especialmente las obtenidas mediante demoras. Efectivamente, la medida de la demora está sujeta a diversos errores:

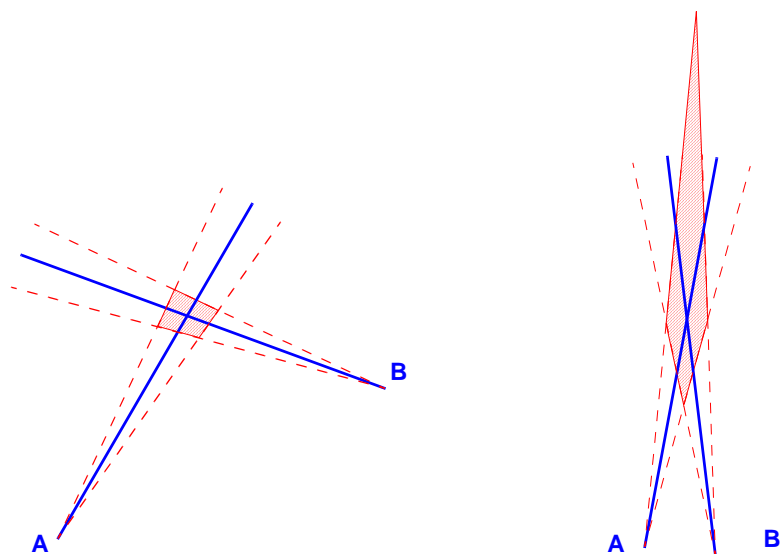
- La lectura de la aguja puede estar afectada de un desvío que no se ha considerado. Este error se puede evitar, sin embargo, efectuando las comprobaciones que se mencionan en la página 54.
- El movimiento del barco hace que la rosa del compás no permanezca estable, afectando a la precisión de la lectura. Para evitar este error conviene efectuar la lectura desde un lugar donde el movimiento sea mínimo, e intentar mantener el compás estable mientras se observa el punto de referencia.
- Las observaciones no son realmente simultáneas, sino que entre ellas transcurre un tiempo apreciable. Este efecto se puede corregir si se conoce el rumbo y la velocidad del barco y el tiempo transcurrido entre las observaciones, aplicando el método que se explica más adelante (véase la página xxx).
- La graduación de la rosa no permite, en general, hacer lecturas con precisión menor que 1°.
- Al trazar la línea de demora en la carta se pueden cometer también errores de menor cuantía.

El efecto de todos estos errores es que el barco no se encuentra, en general, exactamente sobre la línea de demora, sino en una zona comprendida entre ésta y las líneas que limitan el error máximo cometido (entre 1° y 5°, en general, según las condiciones de la observación). Si se obtiene una situación con dos demoras, el barco se encuentra dentro de un cuadrilátero formado por las líneas que limitan los errores de las observaciones respectivas. La figura 4.9 muestra un ejemplo esta situación. En la misma figura se aprecia que para situarse mediante dos demoras es conveniente elegir puntos de referencia cuyas demoras difieran en un ángulo próximo a 90°, con el fin de evitar que el cuadrilátero correspondiente a la zona de error tenga una forma muy alargada, lo que aumentaría la incertidumbre de la situación. En cuanto a las enfilaciones, se pueden considerar en general libres de error, siempre que se observen adecuadamente.

Otro tipo de errores, más graves, se producen por una identificación incorrecta de los puntos de referencia observados. Conviene siempre asegurarse de que los puntos marcados sobre la carta coinciden con los realmente observados.

Situación mediante tres demoras

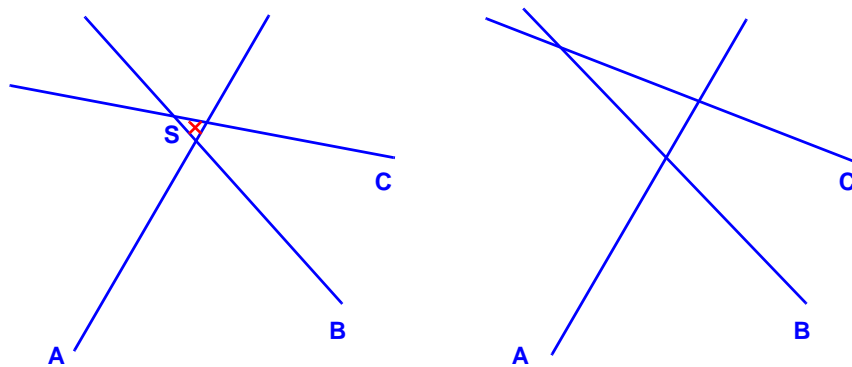
En la mayoría de los casos es difícil estimar la magnitud de los errores cometidos en la observación de las demoras. Una forma de evaluar el grado de confianza que merece una situación obtenida mediante demoras consiste en observar tres demoras simultáneas en vez de dos. Las líneas de demora correspondientes se cortan, en general, formando un triángulo cuya forma y magnitud proporcionan una indicación de la exactitud de la situación. Si el triángulo tiene un tamaño relativamente reducido y una forma regular, podemos suponer con seguridad que nos encontramos en un punto coincidente con su centro, mientras que si es muy grande o irregular conviene repetir las observaciones (figura 4.10).



a) Demoras casi perpendiculares.

b) Demoras casi coincidentes.

Figura 4.9. Errores en las demoras.



a) Situación correcta.

b) Situacion incorrecta.

Figura 4.10. Situación mediante tres demoras.

Calibración del compás de gobierno

Calibración de los desvíos con el compás de marcación

Si se dispone de un lugar donde el compás de marcación está libre de desvíos, se puede utilizar este compás para calcular los desvíos del compás de gobierno. Para ello se navegará a varios rumbos de aguja (generalmente espaciados 15° , ver figura 3.3), y se tomará en el compás de marcación la demora correspondiente a la dirección del barco, marcando la proa desde un punto situado en la línea de crujía donde el desvío sea inapreciable. La diferencia entre ambas lecturas es el desvío. Las ecuaciones que se aplican son:

$$\begin{aligned}R_a &= R_v + \Delta + \delta \quad (\text{compás de gobierno}) \\R_a' &= R_v + \delta \quad (\text{compás de marcación})\end{aligned}$$

y, por tanto,

$$\Delta = R_a - R_a' \quad (4.3)$$

donde R_a es el rumbo de aguja que indica el compás de gobierno y R_a' es el rumbo de aguja indicado por el compás de marcación (es decir, la demora de la proa del barco tomada desde un punto situado en la línea de crujía).

Ejemplo 4.6. Navegando al rumbo 345° , medido en el compás de gobierno, en una zona donde la declinación magnética para el año en curso es $\delta = +4^\circ$, se marca la proa con un compás libre de desvío, obteniéndose un rumbo $R_a' = 348^\circ$. El desvío del compás de gobierno para este rumbo de aguja es, por tanto:

$$\Delta = 345 - 348 = -3^\circ$$

Procediendo de esta forma para distintos rumbos se obtiene la tablilla de desvíos completa.

Determinación de los desvíos mediante enfilaciones

Un método más exacto para medir el desvío de la aguja de gobierno consiste en navegar haciendo proa a una enfilación conocida. De esta forma el rumbo verdadero es el de la enfilación, y suponiendo conocida la declinación magnética el desvío es igual a

$$\Delta = R_v - R_a - \delta \quad (4.4)$$

Otros tipos de líneas de posición

Además de las enfilaciones y demoras, hay otros tipos de líneas de posición que se pueden emplear con provecho en la navegación costera. En este apartado se describen las más importantes.

Líneas isobáticas

Distancia a un punto

con sextante
alcance de un faro
Ángulos horizontales

Sondas

Veriles, combinación con otras líneas de posición

Uso del sextante en la navegación costera

Distancia a un objeto de altura conocida

fundamentos
cálculo de la distancia
situación por distancias
rumbo para pasar a una distancia de un punto

Situación por ángulos horizontales

Fundamentos

Una técnica muy precisa para obtener una situación consiste en medir el ángulo que forman entre sí las visuales a dos puntos de la costa. Este ángulo se puede medir mediante un sextante colocado horizontalmente, haciendo coincidir la imagen directa de uno de los puntos con la imagen reflejada del otro. También se puede medir tomando demoras a los dos puntos y calculando la diferencia entre ambas. Este método tiene ventaja cuando el ángulo entre los puntos es pequeño, en cuyo caso la situación obtenida directamente por intersección de las líneas de demora tendría un error mayor.

Una vez conocido el ángulo horizontal entre dos puntos podemos trazar en la carta una línea de posición, que en este caso es un arco de circunferencia que pasa por los dos puntos y por el punto donde nos encontramos. Este arco, denominado *arco capaz*, es el lugar geométrico de todos los puntos desde los que se ve un segmento bajo el mismo ángulo (figura 4.11). Como en otros casos, la situación observada se obtiene mediante la intersección del arco capaz con otra línea de posición. Esta otra línea de posición puede obtenerse por

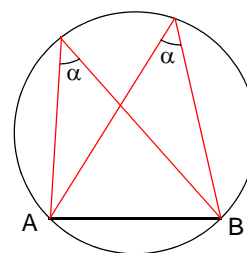


Figura 4.11. Arco capaz del ángulo α con respecto a AB.

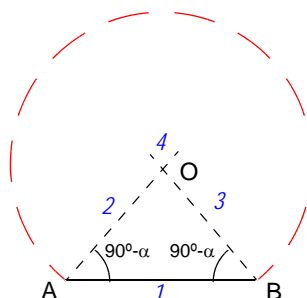


Figura 4.12. Trazado del arco

cualquiera de los métodos que hemos visto anteriormente (alineación, demora, distancia a un punto, sondas, etc.), pero el caso más interesante es aquél en el que obtenemos dos ángulos horizontales en los que intervienen tres puntos de la costa. En este caso no es necesario trazar los arcos capaces respectivos, pudiéndose obtener la situación mediante un procedimiento simplificado.

Trazado del arco capaz

Una vez conocido el ángulo horizontal α entre dos puntos A y B, el arco capaz correspondiente se obtiene por el siguiente procedimiento (figura 4.12)

1. Trazar el segmento que une los dos puntos A y B.
2. Trazar una recta que forme un ángulo $90^\circ - \alpha$ con el segmento AB por uno de sus extremos.
3. Trazar otra recta que forme el mismo ángulo $90^\circ - \alpha$ con AB por el otro extremo.
4. El punto de corte de estas dos rectas es el centro del arco capaz, que pasa por los puntos A y B.

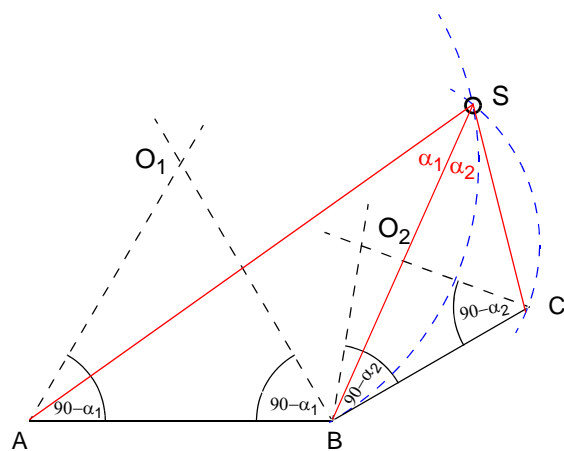
El arco capaz es una línea de posición en la cual nos encontramos en el momento de realizar la medida del ángulo. El punto de corte de este arco con otra línea de posición (por ejemplo, una línea de demora u otro arco capaz) nos da la situación observada.

Situación por dos ángulos horizontales

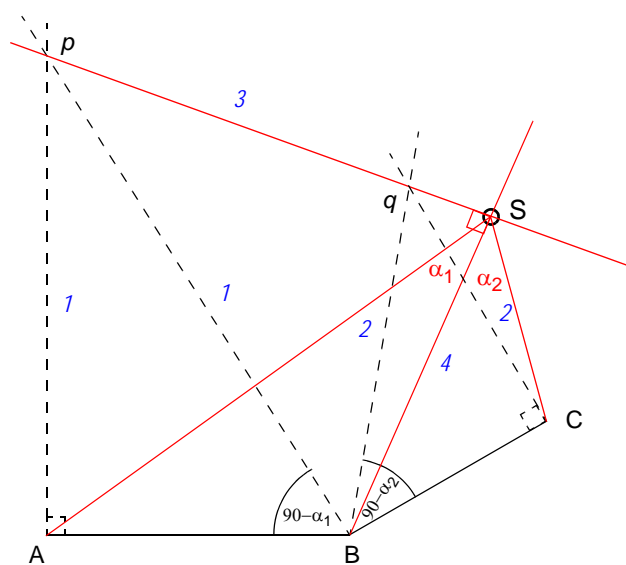
Este método se aplica cuando se tienen a la vista tres puntos de la costa formando entre sí ángulos pequeños (figura 4.13a). Los tres puntos A, B y C forman dos ángulos horizontales, α_1 y α_2 , con un vértice común, B. La forma de proceder consiste en trazar los dos arcos capaces de los dos ángulos observados, y la situación observada se encuentra en la intersección de los mismos, S.

La figura 4.13b ilustra un método alternativo que no requiere el uso del compás:

1. Trazar una recta que pase por B y forme un ángulo $90^\circ - \alpha_1$ con AB. Trazar otra recta perpendicular a AB desde A. Sea p el punto de corte de estas dos rectas.
2. De forma isimilar, trazar desde B una recta que forme un ángulo $90^\circ - \alpha_2$ con BC, y una perpendicular a BC desde C. Sea q el punto de corte de estas otras dos rectas.
3. Unir p con q mediante una línea recta.



a) Trazado con arcos capaces.



b) Trazado sin compás.

Figura 4.13. Situación por dos ángulos horizontales.

4. Trazar una perpendicular a pq desde B. El punto de corte S de la perpendicular con pq nos da la situación en que nos encontramos.

Ángulo horizontal para librar un peligro

Ejemplo.

Traslado de líneas de posición

ejemplos

5 *Navegación por satélite*

Introducción

Fundamentos, GPS, Galileo

Receptores de GPS

tipos, funciones, errores

Navegación con GPS

situación, rumbo y velocidad
waypoints y rutas

Otros usos del GPS

peligros
MOB
conexión con otros instrumentos

6 *Navegación con radar*

Introducción

Fundamentos

Receptores de radar

tipos, funciones, errores

Uso del radar en la navegación

distancias, marcaciones

Precauciones

Introducción

El fundamento de la estima consiste en obtener una situación aproximada o *situación estimada* a partir de la derrota seguida desde una situación anterior. Para ello se parte del rumbo o rumbos a los que se ha navegado, observados por el timonel mediante la aguja, y de la distancia recorrida en cada rumbo, medida directamente en la corredera o a partir de la velocidad indicada por la misma.

Este sencillo principio se ve dificultado en la práctica por diversas circunstancias:

- El rumbo seguido no es constante, y su apreciación por el timonel está sujeta a errores.
- La medida de la distancia recorrida está igualmente sujeta a errores.
- El rumbo y la distancia medidos por los instrumentos de a bordo no coinciden con los efectivamente recorridos debido al efecto del viento y de la corriente.

Todo ello hace que la situación estimada esté sujeta a errores que hay que saber evaluar y corregir para garantizar la seguridad del barco y de sus ocupantes.

Trazado de la derrota en la carta

La derrota se compone de uno o más tramos formados por líneas loxodrómicas, es decir que forman un ángulo constante con los meridianos. Ya vimos en el capítulo 2 que las líneas loxodrómicas se representan como líneas rectas en las cartas mercatorianas, lo que facilita el trazado de la derrota. Cada tramo representa la distancia navegada a un mismo rumbo.

Los pasos a dar para trazar cada uno de los tramos la derrota sobre la carta son los siguientes:

1. Corregir el rumbo de aguja seguido por el timonel de los efectos de la declinación magnética, el desvío de la aguja y el abatimiento para obtener el rumbo de superficie:

$$R_{vs} = R_a + C_t + Ab \quad (1)$$

- Corregir la distancia medida por la corredera para obtener la distancia recorrida sobre la superficie:

$$d_s = K \cdot d_c \quad (2)$$

También se puede calcular la distancia recorrida a partir de la velocidad indicada por la corredera, de la que se obtiene la velocidad de superficie, y del tiempo durante el cual se ha navegado.

$$\begin{aligned} v_s &= K \cdot v_c \\ d_s &= v_s \cdot t \end{aligned} \quad (3)$$

- Trazar una línea recta en la dirección del rumbo efectivo desde la situación de partida, y marcar sobre ella la distancia recorrida. En ausencia de corriente, el rumbo y la distancia efectivos son iguales al rumbo y la distancia de superficie, respectivamente.
- Corregir la derrota teniendo en cuenta el efecto de la corriente, en su caso.

Ejemplo 1. A las 1035 HRB nos situamos por dos demoras en $37^\circ 42,5'N$ $0^\circ 38,4' W$. Navegamos a $Ra = 135^\circ$ a $vc = 6,3$ nudos hasta las 1305 HRB. Suponiendo $Ct = -1^\circ$ y $K = 0,96$, y que hay un viento del E que nos hace abatir 5° ¿cuál será la situación estimada a las 1305 HRB?

HRB final	1305		
HRB inicial	<u>-1035</u>		
tiempo	= 0230	= 2,5 h	
vs	= 0,96·6,3	= 6,0 n	ds = 6,0·2,5 = 15,0 M
Rs	= $135^\circ - 1^\circ + 5^\circ$	= 139°	(el abatimiento es a estribor)

Trazamos la derrota desde la situación inicial al rumbo 139° , marcando la distancia de 15 M (figura 1). La situación estimada a las 1305 HRB se mide directamente en la carta, y es aproximadamente **$37^\circ 31'N$ $0^\circ 26' W$** .

En la figura 1 se muestran algunas normas que es útil seguir al llevar la estima:

- Las situaciones estimadas se marcan de distinta forma que las observadas. En la figura, la situación de partida (1035 HRB), que es una situación observada, se marca con un círculo (⊙), mientras que la situación estimada a las 1305 HRB se marca con un cuadrado (□).
- En todas la situaciones se indica la hora al lado del punto correspondiente.
- Sobre la línea de derrota se escribe el rumbo de superficie (139°) y la velocidad de superficie (6,0 n).

Cada vez que se cambia el rumbo o la velocidad se actualiza la estima y se inicia un nuevo tramo de la derrota.

Ejemplo 2. En el ejemplo anterior, a las 1305 viramos, pasando a navegar a $Ra = 045^\circ$, con la misma velocidad. La corrección total y el abatimiento se suponen iguales que antes. ¿En qué situación estimada nos encontraremos a las 1400 HRB?

HRB final	1400		
HRB inicial	<u>-1305</u>		
tiempo	= 0055	= 0,9h	
vs	= 0,96·6,3	= 6,0n	ds = 6,0·0,9= 5,4M
Rs	= $045^\circ - 1^\circ - 5^\circ$	= 039°	(ahora el abatimiento es a babor)

Como antes, trazamos en la carta el nuevo tramo de la derrota (figura 2). La situación a las 1400 HRB es aproximadamente **$37^\circ 35,5'N$ $0^\circ 22' W$** .

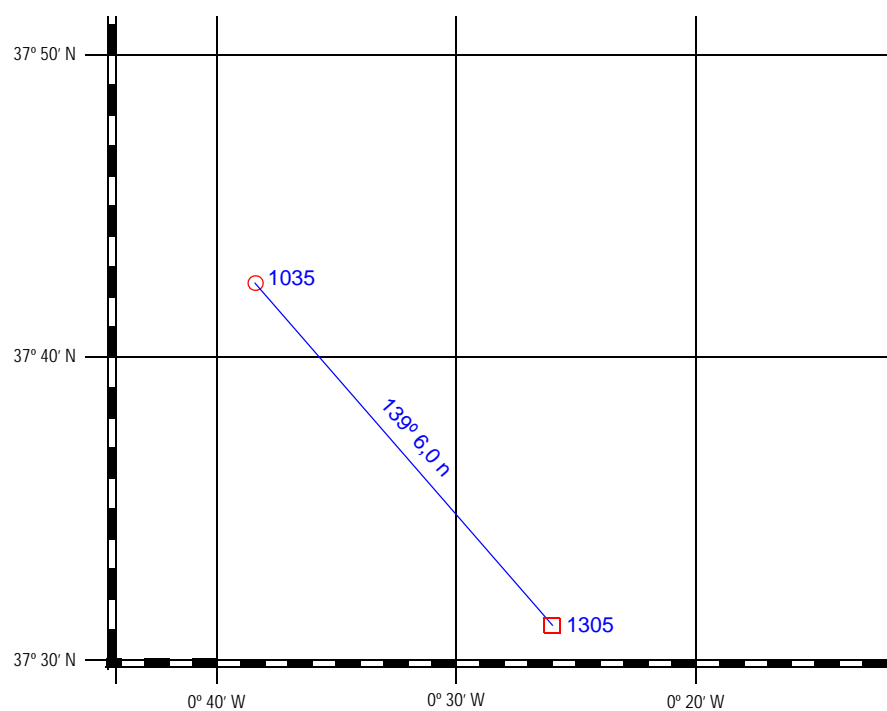


Figura 1. Trazado de la derrota en la carta.

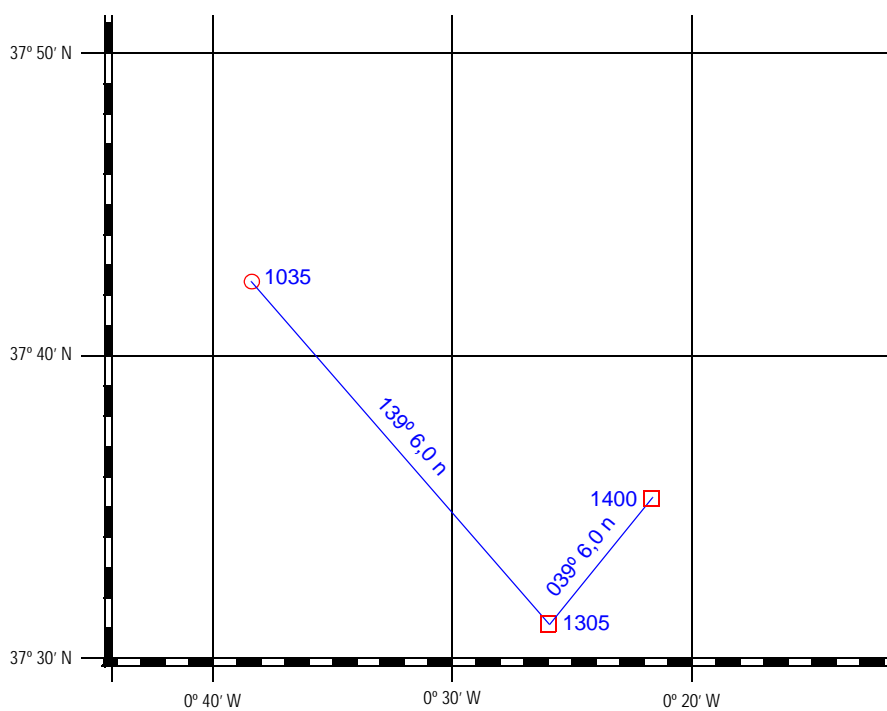


Figura 2. Continuación de la derrota anterior.

Estima con corriente

Cuando se conoce el rumbo y la intensidad horaria de la corriente es fácil tener en cuenta su efecto en la estima. Para ello basta añadir un tramo a la derrota en la dirección del rumbo de la corriente y con una longitud igual a la distancia que ha derivado el barco, igual al producto de la intensidad horaria por el tiempo transcurrido:

$$d_c = i_h \cdot t \quad (4)$$

Ejemplo 3. Corregir la derrota trazada en los ejemplos anteriores con una corriente de rumbo 170° e intensidad horaria $0,2$ M. La corriente actúa sobre toda la derrota.

El tiempo durante el que actúa la corriente es de $3,4$ h. Por tanto, la distancia recorrida por efecto de la corriente es:

$$d_c = 0,2 \cdot 3,4 = 0,7 \text{ M}$$

Por tanto, se añade a la derrota un tramo con rumbo igual a R_c (170°) y una longitud de $0,7$ M (figura 3). La situación corregida es, aproximadamente, **$37^\circ 35' \text{ N } 0^\circ 21,5' \text{ W}$** .

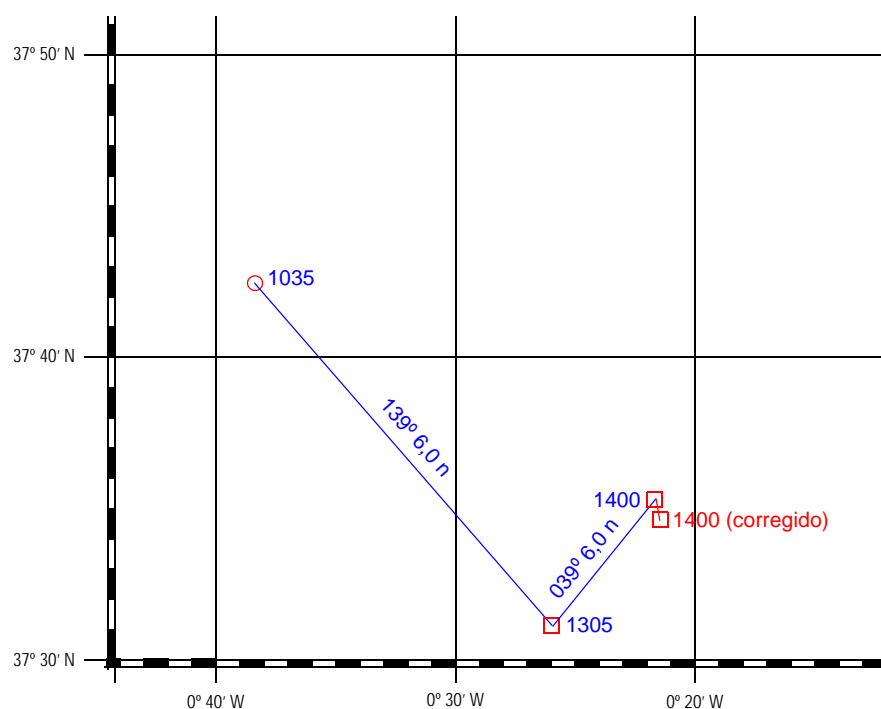


Figura 3. Corrección por corriente.

El cuaderno de bitácora

El cuaderno de bitácora es un elemento fundamental en la navegación de altura. En él se apuntan de forma sistemática los datos necesarios para llevar la estima, y en caso de accidente es una fuente de capital importancia para reconstruir los hechos y averiguar sus causas.

El cuaderno de bitácora debe contener, al menos:

- Los rumbos y distancias navegados.
- Todas las incidencias ocurridas: viradas, cambios de rumbo, cambios de velas, situaciones y líneas de posición obtenidas, y por qué medios, cambios de tiempo, etc.
- La corriente, si se conoce, y el abatimiento estimado, en su caso.
- Los datos meteorológicos de que se disponga a bordo, como presión atmosférica, temperatura, fuerza y dirección del viento, y altura de las olas.

Hay muchos tipos de cuaderno de bitácora, y muchos navegantes utilizan cuadernos corrientes en los que escriben la información necesaria según su gusto personal, pero es importante que contengan la información descrita anteriormente. La figura 4 muestra uno de los muchos modelos posibles.

Es conveniente, en cualquier caso, apuntar los datos que indican los instrumentos, sin ninguna corrección, para que el navegante pueda rehacer las correcciones de la manera más conveniente. Por ejemplo, se apuntará el rumbo de aguja y no el verdadero, la indicación de la corredera y no la distancia recorrida, etc.

Hay que llevar el cuaderno de bitácora en todas las circunstancias, incluso cuando se dispone de otros medios de navegación, como un receptor de GPS, ya que siempre puede ser necesario trazar una estima en caso de fallo de los mismos.

Conviene anotar el rumbo, la lectura de la corredera y, en su caso, la situación obtenida por satélite al menos una vez en cada guardia, y siempre que cambien las circunstancias de rumbo o velocidad.

Hora	R	C		Viento		Bar	Observaciones
		d	V	Dir.	F		
0800	130°	2799,2	6,1	NW	3	1032	Partida de situación GPS 37°38,2' N 0° 30,4 W
0915	135°	2805,7	5,9	NW	3	1033	
10 00	130°	2810,2	3,2	NNW	1	1034	

Figura 4. Ejemplo de cuaderno de bitácora

Estima analítica

En la mayoría de los casos la estima gráfica llevada sobre la carta proporciona una precisión adecuada para las necesidades de la navegación, más aún si se tiene en cuenta el carácter aproximado de este método de navegación. Sin embargo, en algunos casos el trazado de la derrota se hace difícil o incómodo, sobre todo cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- La escala de la carta es reducida, y los tramos de la derrota se representan con líneas demasiado cortas para poder trazar bien las distancias y los rumbos respectivos.
- Se cambia de rumbo con frecuencia, y el trazado de la derrota resulta confuso y difícil de realizar.

En estos dos casos es preferible efectuar la estima de forma analítica, es decir mediante cálculos que, a partir de la situación de partida y de los rumbos y distancias navegados, proporcionen la situación estimada.

Formulación

La estima analítica se fundamenta en la relación entre el rumbo y la distancia navegados, siguiendo una línea loxodrómica, y las diferencias de latitud y longitud entre la situación de partida y la de llegada. Supongamos que en la figura xxx se representa la derrota desde un punto A, navegando a rumbo R una distancia d , hasta llegar a un punto B. Podemos descomponer la distancia recorrida en dos componentes, x e y , en el sentido de los paralelos y de los meridianos, respectivamente:

$$x = d \sin R$$

$$y = d \cos R$$

El valor de y es igual a la diferencia de latitud, Δl , entre los puntos A y B. En cuanto a x , es el llamado *apartamiento*, A , es decir la distancia entre los meridianos de A y de B en la proyección de Mercator. La relación entre el apartamiento y la diferencia de longitud entre A y B es:

$$A = \Delta L \cdot \cos l_m$$

donde l_m es la latitud media de la derrota. Si l_0 es la latitud de partida y l_1 la de llegada,

$$l_m = \frac{l_1 + l_0}{2} = l_0 + \frac{\Delta l}{2}$$

En general, basta con aproximar la latitud media al grado o medio grado más próximo.

Las diferencias de latitud y longitud entre las situaciones de partida y de llegada se obtienen mediante las siguientes fórmulas:

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

$$A = d \cdot \sin R$$

$$l_m = l_0 + \frac{\Delta l}{2} \tag{5}$$

$$\Delta L = \frac{A}{\cos l_m}$$

En estas fórmulas la distancia y el apartamiento se miden en millas, las diferencias de latitud y longitud en minutos de arco, y el rumbo en grados. Los signos de las diferencias

de latitud y longitud son positivos cuando se navega hacia el Norte y el Este, respectivamente, y negativos cuando se navega hacia el Sur y el Oeste, de acuerdo con el convenio de signos establecido en el capítulo 1 (página 3). Las funciones seno y coseno tienen los signos correctos cuando el rumbo se expresa en notación circular, de 0° a 360° .

Si hay varios tramos, se calculan las diferencias de latitud y los apartamientos respectivos, y se calcula su suma algebraica para obtener la diferencia de latitud y el apartamiento total.

Ejemplo 4. Partiendo de la situación $37^\circ 42,5' \text{ N } 0^\circ 38,4' \text{ W}$, navegamos a 6n durante 2h 30m a $R_s = 139^\circ$. A continuación navegamos a $R_s = 039^\circ$ durante 55 m a la misma velocidad. Obtener analíticamente la situación de llegada.

Estos datos corresponden a los ejemplos 1 y 2 (figuras 1 y 2). Disponemos los datos de la siguiente forma:

R	d	Δl	A
139°	$15,0 \text{ M}$	$-11,3$	$9,8$
039°	$5,4 \text{ M}$	$4,2$	$3,4$
Sumas:		$-7,1$	$13,2$
		$l_m \approx 37,5^\circ$	$\Delta L = +16,6$

$l_0 =$	$37^\circ 42,5' \text{ N}$	$L_0 =$	$-0^\circ 38,4' \text{ W}$
$\Delta l =$	$-7,1' \text{ S}$	$\Delta L =$	$+16,6' \text{ E}$
$l_1 =$	$37^\circ 35,4' \text{ N}$	$L_1 =$	$-0^\circ 21,8' \text{ W}$

Por tanto, la situación de llegada es **$37^\circ 35,4' \text{ N } 0^\circ 21,8' \text{ W}$** , que coincide apreciablemente con la calculada gráficamente (figura 2).

Efecto de la corriente

Cuando se está en una con corriente de rumbo e intensidad conocidos se añaden tantos tramos como sea necesario, según vaya cambiando la corriente, con un rumbo igual al de la corriente y una distancia igual al producto de la intensidad horaria por el tiempo durante el que ha actuado la corriente sobre el barco.

Ejemplo 5. Supongamos que durante la navegación correspondiente al ejemplo 4 hemos sufrido el efecto de una corriente de rumbo $R_c = 170^\circ$ e intensidad horaria $I_c = 0,2$ nudos (ver ejemplo 3).

El tiempo durante el que actúa la corriente es de 3,4 h. Por tanto, la distancia recorrida por efecto de la corriente es:

$$d_c = 0,2 \cdot 3,4 = 0,7 \text{ M}$$

Los datos de la estima son ahora los siguientes:

R	d	Δl	A
139°	$15,0 \text{ M}$	$-11,3$	$9,8$
039°	$5,4 \text{ M}$	$4,2$	$3,4$
170°	$0,7 \text{ M}$	$-0,7$	$0,1$
Sumas:		-7,8	13,3
		$l_m = 37,5^\circ$	$\Delta L = \mathbf{+16,8}$

$$\begin{aligned}
 l_0 &= 37^\circ 42,5' \text{ N} & L_0 &= -0^\circ 38,4' \text{ W} \\
 \Delta l &= -7,8' \text{ S} & \Delta L &= +16,8' \text{ E} \\
 l_1 &= \mathbf{37^\circ 34,7' \text{ N}} & L_1 &= \mathbf{-0^\circ 21,6' \text{ W}}
 \end{aligned}$$

Por tanto, la situación final es ahora $37^\circ 34,7' \text{ N } 0^\circ 21,6' \text{ W}$, que coincide aproximadamente con la obtenida gráficamente en el ejemplo 3 (figura 3).

Problema inverso

El *problema inverso* de la estima consiste en obtener el rumbo que hay que seguir y la distancia que hay que recorrer para ir de un punto a otro conociendo las coordenadas de ambos. En este caso se aplican las fórmulas siguientes, siendo $l_0, L_0; l_1, L_1$ la latitud y la longitud de partida y llegada, respectivamente:

$$\begin{aligned}
 \Delta l &= l_1 - l_0 \\
 \Delta L &= L_1 - L_0 \\
 l_m &= \frac{l_1 + l_0}{2} \\
 A &= \Delta L \cos l_m \\
 R &= \arctg \frac{A}{\Delta l} \\
 d &= \sqrt{\Delta l^2 + A^2}
 \end{aligned} \tag{6}$$

Como antes, basta aproximar la latitud media al medio grado más cercano. Al calcular el rumbo hay que tener en cuenta que la función arco tangente tiene dos soluciones, que difieren en 180° . Se tomará el valor menor de 180° (que es el que suelen dar las calculadoras) cuando la diferencia de longitud sea positiva, es decir cuando vayamos hacia el Este, y el valor mayor de 180° (que se obtiene sumando 180° al resultado que proporciona la calculadora) si la diferencia de longitud es negativa, es decir si vamos hacia el Oeste.

Ejemplo 6. Estando situados a la salida del canal del Estacio en $37^\circ 44,1' \text{ N } 0^\circ 43,3' \text{ W}$ queremos hacer rumbo directo al punto $38^\circ 48,2' \text{ N } 1^\circ 24,0' \text{ E}$, en la entrada de los freus de Ibiza. Aplicando las fórmulas anteriores tenemos:

$$\begin{aligned}
 l_1 &= 38^\circ 48,2' \text{ N} & L_0 &= +1^\circ 24,0' \text{ E} \\
 l_0 &= 37^\circ 44,1' \text{ N} & L_0 &= -0^\circ 43,3' \text{ W} \\
 \Delta l &= \mathbf{+1^\circ 4,1' \text{ N}} & \Delta L &= \mathbf{+2^\circ 7,3' \text{ E}} \\
 &= +64,1' & &= +127,3' \\
 l_m &\approx 38^\circ & A &= 100,3 \text{ M}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \arctg(100,3/64,1) && \approx && \mathbf{57,5^\circ} \\ d &= \sqrt{64,1^2 + 100,3^2} && = && \mathbf{119,0 \text{ M}} \end{aligned}$$

Tomamos el rumbo menor de 180° por ser la diferencia de longitud positiva (hacia el Este).

Errores en la estima

La navegación de estima es un método aproximado que está sujeto a numerosos errores, que un buen navegante debe ser capaz de apreciar. Entre las causas de error más importantes están las siguientes:

- compás
- apreciación del rumbo por el timonel
- abatimiento
- velocidad
- corriente

Errores aumentan con el tiempo

Zona de incertidumbre

Calcular la corriente desconocida

Origen de las mareas

Las mareas son movimientos periódicos de elevación y depresión de la superficie del mar producidos por la atracción gravitatoria del Sol y la Luna sobre la masa de agua de los océanos. Aunque la masa de la Luna es mucho menor que la del Sol, su cercanía hace que su efecto sea mucho mayor. Por este motivo la marea se comporta en alta mar como una onda que sigue el movimiento aparente de la Luna, con un cierto retraso debido a la inercia de la masa de agua, y con variaciones debidas a la influencia del Sol, a las características de las órbitas de la Luna y la Tierra, y al efecto de las masas continentales.

La atracción gravitatoria de la Luna, combinada con la fuerza centrífuga debida a la rotación de la Tierra, da lugar a un sistema de fuerzas que hace que el agua de los océanos tienda a desplazarse hacia una posición de equilibrio tal como la que se muestra en la figura 8.1. En esta posición de equilibrio se produce una elevación en el punto más cercano a la Luna, y otra en el más alejado, dando lugar a sendas *pleamares* (PM). En los puntos situados en dirección transversal a la dirección de la Luna aparecen dos depresiones o *bajamares* (BM)

Si consideramos ahora el efecto de la rotación de la Tierra, veremos que las zonas de pleamar y bajamar se van desplazando, dando lugar a la onda de marea. Un observador situado en un punto cualquiera de la Tierra ve la Luna en la misma posición aparente cada

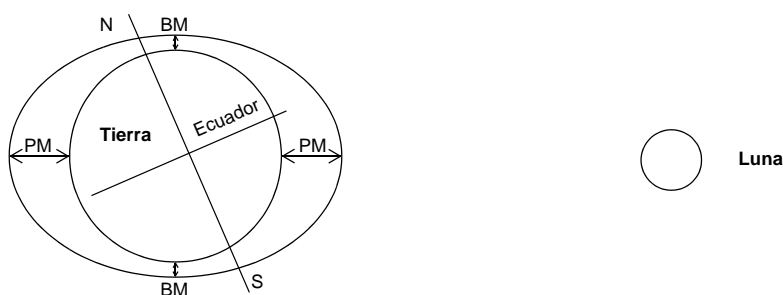


Figura 8.1. Posición de equilibrio debida a la atracción de la Luna.



Figura 8.2. Mareas vivas y mareas muertas

24 horas y 50 minutos, por término medio. Por tanto, habrá una pleamar cada 12 horas y 25 minutos, aproximadamente. El tiempo que transcurre entre una pleamar y una bajamar es de unas 6 horas y 12 minutos, en promedio. Estos valores son aproximados, ya que el exceso del período de rotación aparente sobre un día solar o *retardo* de la Luna tiene una duración variable a lo largo del año, y además la inclinación de la órbita de la Luna y del plano ecuatorial de la Tierra sobre el plano de la órbita terrestre dan lugar a variaciones en las horas de la pleamar y la bajamar.

El efecto de la atracción del Sol es reforzar o reducir el efecto de la atracción lunar, dependiendo de las posiciones relativas del Sol y la Luna y de sus distancias relativas a la Tierra, que varían ligeramente a lo largo del año. Cuando la Luna está alineada con el Sol o en oposición a él (lo que corresponde a las fases de Luna llena o Luna nueva, respectivamente), las atracciones respectivas se suman (figura 8.2a), y la amplitud de la marea es máxima (*mareas vivas* o de *zizigias*). Si, por el contrario, las direcciones aparentes de la Luna y el Sol forman un ángulo recto (cuarto creciente o cuarto menguante), las fuerzas de atracción correspondientes se contrarrestan (figura 8.2b), y la amplitud de la marea es menor (*mareas muertas* o de *cuadratura*). Las mayores mareas del año se producen al encontrarse la Luna en posición de zizigias en torno a los equinoccios, y se denominan *mareas equinocciales*.

La amplitud de la onda de marea en alta mar es reducida, de menos de un metro. Cuando la marea se acerca a la costa, sus características se modifican según la forma de la misma y la profundidad de las aguas costeras. Por este motivo no se puede calcular directamente el efecto de la marea en la costa a partir de los movimientos aparentes del Sol y la Luna, siendo necesario recurrir a cálculos basados en observaciones experimentales.

La forma de la costa afecta enormemente a la marea, produciéndose fenómenos de resonancia en las bahías y en los mares cerrados, que pueden tener características muy diversas. En algunos casos, como ocurre en la bahía de Fundy, en Canadá, o en el Canal de la Mancha, la resonancia de las cuencas costeras produce un aumento considerable de la amplitud de la marea, mientras que en otros, como ocurre en el Mar Mediterráneo, el

efecto de las mareas prácticamente se anula. En las costas españolas las mareas de mayor amplitud se registran en el Mar Cantábrico y en las costas atlánticas de Galicia. En el Golfo de Cádiz y en el Estrecho las mareas tienen una amplitud más reducida, y en el Mediterráneo sólo son apreciables hasta la longitud de Málaga, aproximadamente.

Características de las mareas

La *altura* de la marea es la distancia vertical entre la superficie del mar, supuesta horizontal, y una referencia convencional o *datum*, que coincide con la profundidad cero de las cartas marinas. De esta forma la sonda que se tiene en un punto en un momento determinado es la suma de la sonda que marca la carta y la altura de la marea en ese instante (figura 8.3). En las cartas españolas y francesas se toma como referencia de altura el nivel de la *bajamar escorada*, que es el menor nivel que se ha podido observar nunca en ese lugar. Por tanto, la altura de la marea es siempre positiva, ya que el nivel del mar en un instante cualquiera siempre está por encima de la bajamar escorada. En las cartas inglesas y estadounidenses se toma como referencia el nivel medio de la bajamar de mareas vivas, por lo que la altura de la marea puede ser negativa en algunas ocasiones.

La máxima altura de la marea se llama *pleamar*, y la mínima altura se llama *bajamar*. La diferencia entre la altura de la pleamar y la de la bajamar es la *amplitud* de la marea. Se llama *flujo*, *marea entrante*, o *creciente* al movimiento de subida de la marea, y *reflujo*, *marea saliente*, o *vaciante*, al movimiento de bajada.

Como el intervalo de tiempo entre dos pleamares o bajamares consecutivas es algo mayor de 12 horas, por lo general cada día hay dos pleamares y dos bajamares (figura 8.4). Sin embargo, algunos días sólo hay una pleamar o una bajamar. Esto sucede cuando la última pleamar o bajamar del día anterior ocurre poco antes de la medianoche. En este caso, la siguiente pleamar o bajamar tiene lugar en torno al mediodía, y la siguiente algo después de la medianoche siguiente. Si consideramos la variación de altura de la marea a lo largo de varios días (figura 8.5), se observa el fenómeno de mareas vivas y muertas anteriormente mencionado.

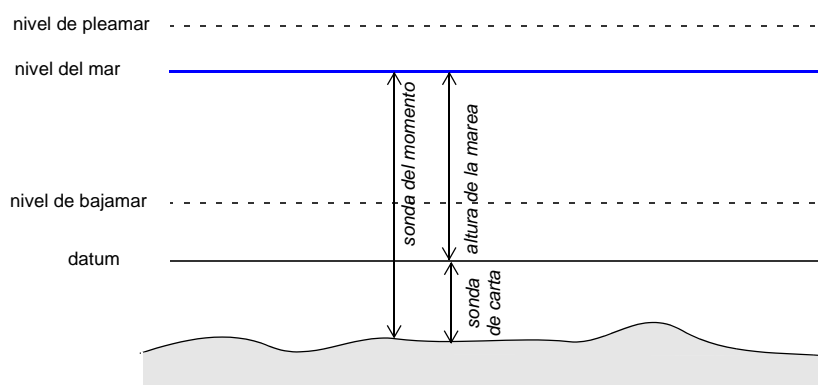


Figura 8.3. Sonda y altura de la marea.

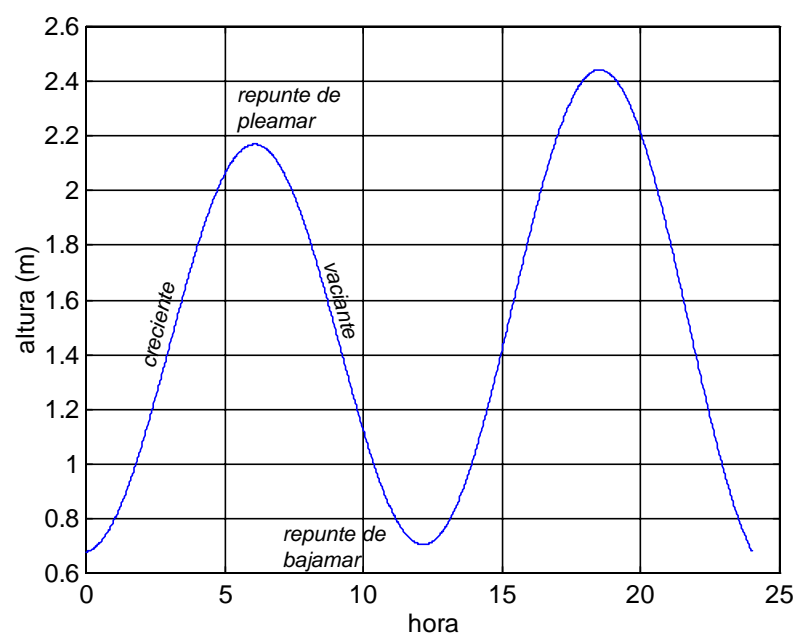


Figura 8.4. Marea semidiurna.

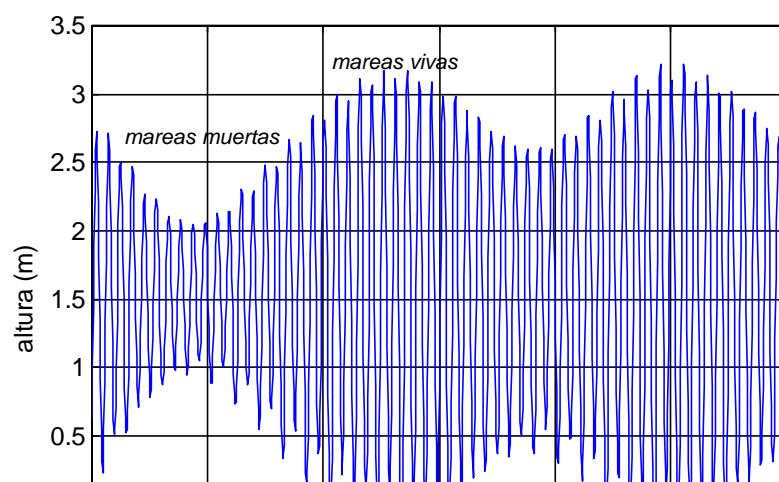


Figura 8.5. Variación de la amplitud de la marea en un mes.

Predicción de las mareas

Como ya se ha dicho, no es posible calcular las horas y amplitudes de las mareas en las cercanías de la costa directamente a partir del conocimiento de las posiciones del Sol y la Luna. El método que se utiliza se basa en el *análisis armónico* desarrollado por Laplace y Fourier y aplicado por Kelvin al cálculo de las mareas en 1867. Para un lugar determinado, el movimiento de las mareas se expresa como la suma de una serie de ondas de distintos períodos afectadas por diferentes coeficientes, denominados *coeficientes armónicos*. El valor de estos coeficientes se determina experimentalmente para cada lugar a partir de la observación de las mareas a lo largo de varios años. Una vez conocidos los coeficientes armónicos de las mareas de un lugar determinado se puede calcular la altura de la marea en cualquier instante. Sin embargo, este cálculo es muy tedioso, por lo que no se suele realizar de forma manual. Los servicios hidrográficos de los distintos países publican tablas que permiten conocer las horas y alturas de la bajamar y pleamar en una serie de lugares, y a partir de ellas se pueden obtener también las alturas correspondientes a otros lugares e instantes. También hay programas informáticos que permiten efectuar este cálculo, siempre que se disponga de los coeficientes armónicos del lugar que nos interesa.

El Anuario de Mareas

Con objeto de facilitar el cálculo de las mareas, numerosos países editan tablas que proporcionan las horas y alturas de las pleamares y bajamares en distintos puntos. Estas publicaciones suelen proporcionar los datos de un año completo, por lo que se conocen como *anuarios de mareas*. El Instituto Hidrográfico de la Marina publica cada año el *Anuario de Mareas* español, que consta de varias partes:

1. Predicción de mareas para puertos patrones.
2. Predicción de mareas para puertos secundarios.
3. Constantes no armónicas de otros lugares del globo.

Además, el anuario contiene una sección de introducción con instrucciones y ejemplos de uso, y una serie de tablas complementarias que permiten efectuar diversos cálculos relacionados con las mareas.

Predicción de mareas para puertos patrones

La primera parte del anuario contiene un conjunto de tablas con las horas y alturas de las pleamares y bajamares de cada día del año para una serie de puertos denominados *puertos patrones*, o *puertos principales*. Las tablas correspondientes a cada puerto están dispuestas de forma que cada página contiene los datos para tres meses (véanse los ejemplos de las páginas 39 y 40). Para cada día aparecen tres o cuatro valores de hora y altura, que corresponden a las pleamares y bajamares del día. No se dice expresamente qué valores corresponden a la bajamar y cuáles a la pleamar, pero esto se deduce fácilmente de las alturas correspondientes. Debe tenerse en cuenta que las horas que aparecen en el Anuario son de tiempo universal (huso 0), por lo que habrá que aplicar el adelanto vigente si se quiere obtener la hora oficial. En cuanto a las alturas, se expresan en metros sobre el datum de las cartas.

JULIO

AGOSTO

SEPTIEMBRE

Día	Hora	Alt/m	Día	Hora	Alt/m	Día	Hora	Alt/m	Día	Hora	Alt/m	Día	Hora	Alt/m	Día	Hora	Alt/m
1	01 23 07 34 13 37 19 56	1.18 2.99 1.35 3.18	16	01 27 07 43 13 42 20 07	0.76 3.40 0.95 3.62	1	02 05 08 19 14 27 20 45	1.34 2.90 1.49 2.98	16	02 58 09 20 15 28 21 57	1.20 3.16 1.28 3.12	1	03 05 09 36 16 02 22 22	1.61 2.86 1.65 2.78	16	05 21 11 45 18 11	1.56 3.15 1.37
2	02 13 08 27 14 33 20 50	1.31 2.89 1.46 3.06	17	02 26 08 44 14 44 21 10	0.92 3.28 1.08 3.45	2	03 01 09 22 15 34 21 50	1.46 2.84 1.58 2.89	17	04 13 10 40 16 53 23 22	1.36 3.10 1.36 3.03	2	04 31 11 04 17 29 23 47	1.62 2.94 1.52 2.90	17	00 33 06 30 12 47 19 08	3.01 1.41 3.32 1.18
3	03 10 09 28 15 36 21 51	1.40 2.84 1.53 2.99	18	03 31 09 51 15 53 22 20	1.06 3.21 1.18 3.32	3	04 07 10 34 16 49 23 04	1.51 2.86 1.56 2.88	18	05 32 11 57 18 14	1.37 3.17 1.28	3	05 50 12 14 18 36	1.47 3.15 1.26	18	01 24 07 20 13 34 19 50	3.18 1.21 3.50 0.99
4	04 12 10 34 16 40 22 54	1.43 2.86 1.52 2.99	19	04 39 11 01 17 06 23 32	1.13 3.21 1.19 3.27	4	05 16 11 43 17 59	1.46 2.98 1.44	19	00 37 06 40 13 00 19 17	3.07 1.27 3.33 1.12	4	00 50 06 50 13 09 19 27	3.14 1.21 3.44 0.95	19	02 03 07 59 14 12 20 25	3.35 1.01 3.66 0.84
5	05 11 11 33 17 41 23 52	1.39 2.96 1.44 3.04	20	05 46 12 08 18 16	1.13 3.29 1.13	5	00 12 06 18 12 40 18 57	2.97 1.33 3.17 1.24	20	01 35 07 33 13 50 20 06	3.19 1.11 3.51 0.94	5	01 39 07 39 13 55 20 12	3.43 0.92 3.76 0.62	20	02 36 08 34 14 46 20 56	3.50 0.86 3.77 0.73
6	06 04 12 25 18 34	1.31 3.10 1.32	21	00 39 06 47 13 06 19 17	3.29 1.06 3.43 1.00	6	01 08 07 11 13 30 19 47	3.15 1.15 3.41 0.99	21	02 19 08 16 14 31 20 46	3.32 0.95 3.66 0.78	6	02 24 08 23 14 39 20 55	3.72 0.63 4.05 0.34	21	03 05 09 06 15 17 21 26	3.60 0.76 3.84 0.67
7	00 44 06 52 13 10 19 22	3.14 1.18 3.28 1.16	22	01 37 07 40 13 58 20 11	3.35 0.97 3.58 0.87	7	01 57 07 58 14 15 20 32	3.36 0.93 3.65 0.73	22	02 57 08 54 15 08 21 21	3.44 0.82 3.77 0.68	7	03 06 09 06 15 22 21 37	3.95 0.39 4.28 0.16	22	03 34 09 36 15 47 21 54	3.67 0.72 3.85 0.67
8	01 31 07 35 13 52 20 06	3.27 1.05 3.46 0.98	23	02 26 08 26 14 43 20 57	3.42 0.87 3.70 0.74	8	02 42 08 42 14 59 21 15	3.57 0.72 3.88 0.50	23	03 31 09 29 15 43 21 54	3.52 0.73 3.82 0.63	8	03 48 09 48 16 05 22 19	4.11 0.25 4.40 0.10	23	04 01 10 05 16 16 22 22	3.69 0.73 3.83 0.72
9	02 15 08 17 14 33 20 48	3.40 0.91 3.64 0.81	24	03 10 09 08 15 24 21 39	3.47 0.79 3.79 0.67	9	03 26 09 25 15 42 21 58	3.76 0.53 4.07 0.32	24	04 02 10 02 16 15 22 25	3.56 0.70 3.82 0.64	9	04 30 10 30 16 49 23 01	4.15 0.22 4.38 0.19	24	04 29 10 34 16 45 22 50	3.67 0.81 3.75 0.82
10	02 58 08 58 15 15 21 30	3.53 0.78 3.79 0.66	25	03 50 09 47 16 03 22 17	3.49 0.75 3.82 0.65	10	04 09 10 08 16 26 22 41	3.88 0.42 4.19 0.25	25	04 32 10 34 16 47 22 56	3.55 0.73 3.77 0.71	10	05 13 11 14 17 34 23 44	4.07 0.33 4.22 0.41	25	04 58 11 04 17 15 23 19	3.60 0.92 3.63 0.95
11	03 41 09 40 15 57 22 14	3.63 0.69 3.90 0.55	26	04 27 10 24 16 40 22 53	3.48 0.76 3.79 0.68	11	04 53 10 52 17 11 23 26	3.91 0.39 4.21 0.29	26	05 02 11 05 17 18 23 26	3.51 0.81 3.68 0.82	11	05 58 12 00 18 22	3.90 0.55 3.94	26	05 28 11 35 17 48 23 50	3.51 1.07 3.47 1.12
12	04 25 10 23 16 42 22 58	3.69 0.64 3.96 0.50	27	05 02 11 01 17 16 23 28	3.43 0.81 3.71 0.77	12	05 38 11 37 17 58	3.86 0.45 4.11	27	05 32 11 36 17 50 23 57	3.42 0.94 3.55 0.96	12	00 30 06 46 12 51 19 14	0.73 3.65 0.85 3.58	27	06 02 12 11 18 24	3.37 1.25 3.27
13	05 11 11 08 17 28 23 45	3.68 0.65 3.96 0.53	28	05 36 11 36 17 52	3.36 0.91 3.59	13	00 11 06 25 12 24 18 47	0.43 3.73 0.61 3.92	28	06 04 12 09 18 24	3.31 1.10 3.39	13	01 22 07 42 13 51 20 17	1.08 3.38 1.17 3.22	28	00 26 06 42 12 55 19 10	1.32 3.22 1.44 3.05
14	05 58 11 55 18 18	3.63 0.70 3.90	29	00 03 06 10 12 13 18 29	0.89 3.25 1.04 3.45	14	01 00 07 15 13 16 19 40	0.67 3.54 0.83 3.65	29	00 30 06 40 12 46 19 02	1.13 3.18 1.27 3.20	14	02 26 08 53 15 10 21 41	1.39 3.16 1.42 2.95	29	01 11 07 35 13 56 20 16	1.52 3.06 1.61 2.85
15	00 34 06 49 12 46 19 10	0.62 3.52 0.81 3.78	30	00 39 06 47 12 51 19 08	1.04 3.13 1.19 3.29	15	01 54 08 12 14 16 20 42	0.94 3.33 1.08 3.36	30	01 09 07 23 13 32 19 49	1.31 3.04 1.45 3.01	15	03 51 10 22 16 47 23 19	1.58 3.07 1.49 2.89	30	02 19 08 53 15 27 21 52	1.69 2.94 1.67 2.79
			31	01 19 07 29 13 34 19 52	1.20 3.01 1.35 3.13				31	01 57 08 19 14 35 20 54	1.48 2.91 1.60 2.84						

Las alturas expresadas se sumarán a las sondas de las cartas españolas para obtener la sonda en las horas de pleamar o bajamar. Las horas corresponden al huso 0.— Para tener horas oficiales **SUMESE EL ADELANTO VIGENTE.**

OCTUBRE						NOVIEMBRE						DICIEMBRE					
Día	Hora	Alt/m	Día	Hora	Alt/m	Día	Hora	Alt/m	Día	Hora	Alt/m	Día	Hora	Alt/m	Día	Hora	Alt/m
1 M	02 45 09 22 15 29 21 43	0.41 0.75 0.42 0.78	16 X	04 43 11 07 17 10 23 36	0.35 0.85 0.35 0.84	1 V	04 35 11 06 17 00 23 33	0.29 0.95 0.23 0.95	16 S	05 28 11 53 17 47	0.32 0.94 0.30	1 D	04 54 11 27 17 25	0.26 1.02 0.17	16 L	05 28 11 48 17 49	0.35 0.91 0.31
2 X	04 16 10 41 16 38 23 00	0.34 0.82 0.33 0.85	17 J	05 27 11 54 17 47	0.30 0.91 0.30	2 S	05 23 11 55 17 47	0.21 1.04 0.14	17 D	00 21 06 03 12 28 18 19	0.93 0.29 0.98 0.27	2 L	00 01 05 42 12 17 18 12	0.98 0.21 1.07 0.12	17 M	00 23 06 06 12 26 18 25	0.90 0.33 0.94 0.28
3 J	05 09 11 38 17 27 23 58	0.26 0.91 0.23 0.94	18 V	00 19 06 03 12 32 18 19	0.90 0.25 0.96 0.25	3 D	00 23 06 07 12 41 18 31	1.02 0.15 1.11 0.07	18 L	00 55 06 35 13 00 18 49	0.97 0.27 1.00 0.24	3 M	00 51 06 28 13 05 18 57	1.02 0.18 1.09 0.09	18 X	01 00 06 41 13 03 19 01	0.93 0.31 0.96 0.25
4 V	05 53 12 25 18 12	0.18 1.01 0.14	19 S	00 55 06 36 13 05 18 49	0.96 0.22 1.00 0.22	4 ●	01 10 06 49 13 26 19 14	1.08 0.11 1.15 0.04	19 M	01 26 07 06 13 30 19 20	0.99 0.27 1.02 0.23	4 ●	01 37 07 11 13 52 19 41	1.04 0.16 1.09 0.09	19 ○	01 36 07 16 13 40 19 37	0.96 0.29 0.98 0.23
5 S	00 46 06 35 13 08 18 54	1.03 0.11 1.09 0.06	20 D	01 27 07 07 13 35 19 19	0.99 0.21 1.03 0.20	5 M	01 54 07 31 14 10 19 57	1.11 0.10 1.16 0.04	20 ○	01 57 07 37 14 01 19 52	1.01 0.27 1.02 0.22	5 J	02 23 07 54 14 38 20 24	1.04 0.17 1.07 0.12	20 V	02 13 07 52 14 18 20 14	0.98 0.28 0.99 0.22
6 ●	01 31 07 15 13 51 19 37	1.09 0.06 1.15 0.01	21 ○	01 56 07 36 14 03 19 47	1.01 0.20 1.04 0.19	6 X	02 38 08 12 14 54 20 39	1.11 0.12 1.13 0.07	21 J	02 29 08 08 14 33 20 24	1.01 0.28 1.02 0.23	6 V	03 07 08 37 15 23 21 07	1.02 0.20 1.02 0.16	21 S	02 52 08 29 14 58 20 52	0.99 0.28 0.99 0.22
7 L	02 15 07 56 14 33 20 19	1.13 0.04 1.18 0.00	22 M	02 25 08 05 14 30 20 16	1.02 0.21 1.04 0.19	7 J	03 22 08 53 15 38 21 21	1.08 0.16 1.08 0.13	22 V	03 03 08 41 15 08 20 59	1.00 0.29 1.00 0.25	7 S	03 52 09 20 16 09 21 50	0.99 0.24 0.97 0.21	22 D	03 32 09 09 15 41 21 33	0.98 0.28 0.98 0.23
8 M	02 59 08 36 15 16 21 01	1.13 0.06 1.16 0.03	23 X	02 53 08 33 14 58 20 46	1.02 0.23 1.02 0.21	8 V	04 07 09 35 16 24 22 04	1.02 0.22 1.00 0.21	23 S	03 41 09 16 15 47 21 37	0.97 0.31 0.97 0.27	8 D	04 38 10 06 16 56 22 35	0.95 0.29 0.90 0.27	23 L	04 15 09 53 16 27 22 16	0.97 0.29 0.96 0.25
9 X	03 43 09 16 16 01 21 43	1.10 0.10 1.11 0.09	24 J	03 23 09 02 15 28 21 17	1.00 0.26 1.00 0.23	9 S	04 54 10 19 17 13 22 50	0.96 0.29 0.92 0.29	24 D	04 23 09 56 16 31 22 19	0.94 0.34 0.93 0.31	9 L	05 26 10 56 17 47 23 25	0.91 0.34 0.84 0.32	24 M	05 01 10 41 17 17 23 03	0.96 0.30 0.93 0.28
10 J	04 28 09 57 16 46 22 25	1.04 0.17 1.03 0.18	25 V	03 56 09 32 16 01 21 50	0.96 0.30 0.96 0.27	10 D	05 45 11 10 18 08 23 46	0.89 0.37 0.84 0.36	25 L	05 10 10 44 17 22 23 09	0.91 0.37 0.89 0.34	10 M	06 19 11 53 18 45	0.86 0.39 0.80	25 X	05 52 11 35 18 12 23 57	0.94 0.31 0.89 0.30
11 V	05 15 10 40 17 36 23 11	0.96 0.26 0.94 0.27	26 S	04 34 10 07 16 41 22 28	0.92 0.34 0.91 0.31	11 ●	06 45 12 19 19 16	0.84 0.44 0.78	26 M	06 04 11 44 18 22	0.88 0.40 0.85	11 ●	00 26 07 19 13 03 19 51	0.37 0.83 0.43 0.77	26 J	06 49 12 36 19 15	0.92 0.32 0.86
12 S	06 06 11 29 18 32	0.88 0.35 0.84	27 D	05 19 10 49 17 30 23 15	0.87 0.39 0.86 0.36	12 M	01 10 07 59 14 06 20 39	0.42 0.81 0.46 0.76	27 ●	00 12 07 08 12 58 19 33	0.37 0.86 0.40 0.83	12 J	01 41 08 25 14 26 21 01	0.41 0.82 0.43 0.77	27 ●	01 00 07 53 13 48 20 24	0.33 0.91 0.32 0.84
13 ●	00 09 07 08 12 41 19 43	0.36 0.81 0.43 0.78	28 L	06 14 11 47 18 31	0.82 0.43 0.82	13 X	02 53 09 19 15 39 21 58	0.42 0.82 0.43 0.78	28 J	01 33 08 21 14 23 20 52	0.38 0.87 0.37 0.84	13 V	02 57 09 28 15 36 22 06	0.41 0.83 0.41 0.79	28 S	02 13 08 59 15 04 21 36	0.34 0.91 0.30 0.84
14 L	01 54 08 30 14 57 21 13	0.41 0.77 0.45 0.75	29 ●	00 22 07 25 13 14 19 49	0.40 0.80 0.45 0.79	14 J	04 00 10 24 16 33 22 58	0.39 0.85 0.39 0.83	29 V	02 55 09 32 15 36 22 05	0.36 0.91 0.31 0.87	14 S	03 58 10 22 16 29 22 59	0.40 0.86 0.38 0.83	29 D	03 26 10 04 16 12 22 43	0.32 0.93 0.26 0.87
15 M	03 44 10 00 16 23 22 37	0.40 0.79 0.41 0.79	30 X	02 07 08 50 14 57 21 18	0.41 0.81 0.41 0.81	15 V	04 48 11 14 17 12 23 44	0.35 0.90 0.34 0.88	30 S	04 00 10 34 16 34 23 08	0.31 0.96 0.24 0.93	15 D	04 47 11 08 17 11 23 43	0.37 0.88 0.34 0.86	30 L	04 30 11 04 17 11 23 44	0.30 0.96 0.21 0.90
			31 J	03 37 10 07 16 08 22 34	0.36 0.87 0.32 0.87										31 M	05 26 12 00 18 02	0.26 0.98 0.17

Las alturas expresadas se sumarán a las sondas de las cartas españolas para obtener la sonda en las horas de pleamar o bajamar.
Las horas corresponden al huso 0.— Para tener horas oficiales **SUMESE EL ADELANTO VIGENTE.**

Ejemplo 1. Calcular la hora y la altura de la segunda pleamar del día 12 de octubre de 2002 en Algeciras.

Como Algeciras es un puerto patrón, los datos pedidos se obtienen directamente consultando la página correspondiente en la primera parte de del anuario (véase la página 40):

Día	Hora	Altura
12	06 06	0.88
	11 29	0.35
S	18 32	0.84

Por tanto, la segunda pleamar del día tendrá lugar a las **18 32 TU** (20 32 de hora oficial), y la altura correspondiente es de **0,84 m**.

Predicción de mareas puertos secundarios

La segunda parte del anuario permite calcular las horas y alturas de la marea en otros puertos, denominados *secundarios*, a partir de los valores correspondientes a un puerto patrón. El anuario contiene las diferencias de hora y altura para la pleamar y bajamar entre cada uno de los puertos secundarios y el puerto patrón correspondiente.

Ejemplo 2. Calcular la hora y la altura de la primera bajamar del día 6 de julio de 2002 en Cedeira.

En la segunda parte del anuario aparece Cedeira como puerto secundario, con los siguientes parámetros:

Núm	Lugar	Latitud Norte	Longitud Oeste	Diferencias con el puerto patrón				Puerto Patrón
				Hora		Altura		
				PM	BM	PM	BM	
45	Ría de Cedeira	43 40	8 04	+0 40	+0 40	+0.24	+0.03	La Coruña

Se buscan, por tanto, en la primera parte de al anuario los datos correspondientes al puerto patrón (La Coruña) para la fecha dada (página 39):

Día	Hora	Altura
6	06 04	1.31
	12 25	3.10
S	18 34	1.32

A continuación se aplican las correcciones para la bajamar en Cedeira:

<i>La Coruña:</i>	Hora (TU)	=	06 04	Altura	=	1,31 m
<i>Cedeira:</i>	Diferencia		<u>+0 40</u>			<u>+0.03 m</u>
	Hora (TU)	=	06 44	Altura	=	1,34 m

Por tanto la bajamar en Cedeira tendrá lugar a las **6 44 TU** (8 44 hora oficial), y la altura correspondiente será de **1,34 m**.

Altura de la marea en un instante cualquiera

La altura de la marea en un instante cualquiera que no corresponde a la bajamar ni a la pleamar tiene un valor intermedio entre estos dos. Si tenemos en cuenta que la altura de la marea varía con el tiempo según una curva que se asemeja a una senoide (figura 8.4), podemos obtener la altura de la marea en cualquier instante realizando una interpolación entre la bajamar y la pleamar más próximas. El anuario de mareas contiene una tabla (reproducida en la página 86) que se puede utilizar para calcular la altura de la marea en un instante cualquiera. Ilustraremos su uso mediante un ejemplo.

TABLA PARA CALCULAR LA ALTURA DE LA MAREA EN UN INSTANTE CUALQUIERA

DURACIÓN DE LA CRECIENTE O VACIANTE																AMPLITUD DE LA MAREA																									
4 00	4 15	4 30	4 45	5 00	5 15	5 30	5 45	6 00	6 15	6 30	6 45	7 00	7 15	7 30	7 45	8 00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	10,50	11,00	11,50	12,00	
INTERVALO DESDE/HASTA LA BAJAMAR MÁS PRÓXIMA																CORRECCIONES ADITIVAS A LA ALTURA DE LA BAJAMR MÁS PRÓXIMA																									
0 08	0 08	0 09	0 09	0 10	0 10	0 11	0 11	0 12	0 12	0 13	0 13	0 14	0 14	0 15	0 15	0 16	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
0 16	0 17	0 18	0 19	0 20	0 21	0 22	0 23	0 24	0 25	0 26	0 27	0 28	0 29	0 30	0 31	0 32	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13
0 24	0 25	0 27	0 28	0 30	0 31	0 33	0 34	0 36	0 37	0 39	0 40	0 42	0 43	0 45	0 46	0 48	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	
0 32	0 34	0 36	0 38	0 40	0 42	0 44	0 46	0 48	0 50	0 52	0 54	0 56	0 58	1 00	1 02	1 04	0,02	0,04	0,06	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,48	0,50	0,52	
0 40	0 42	0 45	0 47	0 50	0 52	0 55	0 57	1 00	1 02	1 05	1 07	1 10	1 12	1 15	1 17	1 20	0,03	0,07	0,10	0,13	0,17	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,44	0,47	0,50	0,54	0,57	0,60	0,64	0,67	0,70	0,74	0,77	0,80	
0 48	0 51	0 54	0 57	1 00	1 03	1 06	1 09	1 12	1 15	1 18	1 21	1 24	1 27	1 30	1 33	1 36	0,05	0,10	0,14	0,19	0,24	0,29	0,33	0,38	0,43	0,48	0,53	0,57	0,62	0,67	0,72	0,76	0,81	0,86	0,91	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	
0 56	0 59	1 03	1 06	1 10	1 13	1 17	1 20	1 24	1 27	1 31	1 34	1 38	1 41	1 45	1 48	1 52	0,06	0,13	0,19	0,26	0,32	0,39	0,45	0,51	0,58	0,64	0,71	0,77	0,83	0,90	0,96	1,03	1,09	1,16	1,22	1,28	1,35	1,41	1,48	1,54	
1 04	1 08	1 12	1 16	1 20	1 24	1 28	1 32	1 36	1 40	1 44	1 48	1 52	1 56	2 00	2 04	2 08	0,08	0,17	0,25	0,33	0,41	0,50	0,58	0,66	0,74	0,83	0,91	0,99	1,08	1,16	1,24	1,32	1,41	1,49	1,57	1,65	1,74	1,82	1,90	1,99	
1 12	1 16	1 21	1 25	1 30	1 34	1 39	1 43	1 48	1 52	1 57	2 01	2 06	2 10	2 15	2 19	2 24	0,10	0,21	0,31	0,41	0,52	0,62	0,72	0,82	0,93	1,03	1,13	1,24	1,34	1,44	1,55	1,65	1,75	1,85	1,96	2,06	2,16	2,27	2,37	2,47	
1 20	1 25	1 30	1 35	1 40	1 45	1 50	1 55	2 00	2 05	2 10	2 15	2 20	2 25	2 30	2 35	2 40	0,13	0,25	0,38	0,50	0,63	0,75	0,88	1,00	1,13	1,25	1,38	1,50	1,63	1,75	1,88	2,00	2,13	2,25	2,38	2,50	2,63	2,75	2,88	3,00	
1 28	1 33	1 39	1 44	1 50	1 55	2 01	2 06	2 12	2 17	2 23	2 28	2 34	2 39	2 45	2 50	2 56	0,15	0,30	0,44	0,59	0,74	0,89	1,04	1,19	1,33	1,48	1,63	1,78	1,93	2,08	2,22	2,37	2,52	2,67	2,82	2,97	3,11	3,26	3,41	3,56	
1 36	1 42	1 48	1 54	2 00	2 06	2 12	2 18	2 24	2 30	2 36	2 42	2 48	2 54	3 00	3 06	3 12	0,17	0,35	0,52	0,69	0,86	1,04	1,21	1,38	1,55	1,73	1,90	2,07	2,25	2,42	2,59	2,76	2,94	3,11	3,28	3,45	3,63	3,80	3,97	4,15	
1 44	1 50	1 57	2 03	2 10	2 16	2 23	2 29	2 36	2 42	2 49	2 55	3 02	3 08	3 15	3 21	3 28	0,20	0,40	0,59	0,79	0,99	1,19	1,39	1,58	1,78	1,98	2,18	2,38	2,57	2,77	2,97	3,17	3,37	3,56	3,76	3,96	4,16	4,36	4,55	4,75	
1 52	1 59	2 06	2 13	2 20	2 27	2 34	2 41	2 48	2 55	3 02	3 09	3 16	3 23	3 30	3 37	3 44	0,22	0,45	0,67	0,90	1,12	1,34	1,57	1,79	2,01	2,24	2,46	2,69	2,91	3,13	3,36	3,58	3,81	4,03	4,25	4,48	4,70	4,93	5,15	5,37	
2 00	2 07	2 15	2 22	2 30	2 37	2 45	2 52	3 00	3 07	3 15	3 22	3 30	3 37	3 45	3 52	4 00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	
2 08	2 16	2 24	2 32	2 40	2 48	2 56	3 04	3 12	3 20	3 28	3 36	3 44	3 52	4 00	4 08	4 16	0,28	0,55	0,83	1,10	1,38	1,66	1,93	2,21	2,49	2,76	3,04	3,31	3,59	3,87	4,14	4,42	4,69	4,97	5,25	5,52	5,80	6,07	6,35	6,63	
2 16	2 24	2 33	2 41	2 50	2 58	3 07	3 15	3 24	3 32	3 41	3 49	3 58	4 06	4 15	4 23	4 32	0,30	0,60	0,91	1,21	1,51	1,81	2,11	2,42	2,72	3,02	3,32	3,62	3,93	4,23	4,53	4,83	5,13	5,44	5,74	6,04	6,34	6,64	6,95	7,25	
2 24	2 33	2 42	2 51	3 00	3 09	3 18	3 27	3 36	3 45	3 54	4 03	4 12	4 21	4 30	4 39	4 48	0,33	0,65	0,98	1,31	1,64	1,96	2,29	2,62	2,95	3,27	3,60	3,93	4,25	4,58	4,91	5,24	5,56	5,89	6,22	6,55	6,87	7,20	7,53	7,85	
2 32	2 41	2 51	3 00	3 10	3 19	3 29	3 38	3 48	3 57	4 07	4 16	4 26	4 35	4 45	4 54	5 04	0,35	0,70	1,06	1,41	1,76	2,11	2,46	2,81	3,17	3,52	3,87	4,22	4,57	4,92	5,28	5,63	5,98	6,33	6,68	7,03	7,39	7,74	8,09	8,44	
2 40	2 50	3 00	3 10	3 20	3 30	3 40	3 50	4 00	4 10	4 20	4 30	4 40	4 50	5 00	5 10	5 20	0,38	0,75	1,13	1,50	1,88	2,25	2,63	3,00	3,38	3,75	4,13	4,50	4,88	5,25	5,63	6,00	6,38	6,75	7,13	7,50	7,88	8,25	8,63	9,00	
2 48	2 58	3 09	3 19	3 30	3 40	3 51	4 01	4 12	4 22	4 33	4 43	4 54	5 04	5 15	5 25	5 36	0,40	0,79	1,19	1,59	1,98	2,38	2,78	3,18	3,57	3,97	4,37	4,76	5,16	5,56	5,95	6,35	6,75	7,15	7,54	7,94	8,34	8,73	9,13	9,53	
2 56	3 07	3 18	3 29	3 40	3 51	4 02	4 13	4 24	4 35	4 46	4 57	5 08	5 19	5 30	5 41	5 52	0,42	0,83	1,25	1,67	2,09	2,50	2,92	3,34	3,76	4,17	4,59	5,01	5,42	5,84	6,26	6,68	7,09	7,51	7,93	8,35	8,76	9,18	9,60	10,01	
3 04	3 15	3 27	3 38	3 50	4 01	4 13	4 24	4 36	4 47	4 59	5 10	5 22	5 33	5 45	5 56	6 08	0,44	0,87	1,31	1,74	2,18	2,61	3,05	3,49	3,92	4,36	4,79	5,23	5,67	6,10	6,54	6,97	7,41	7,84	8,28	8,72	9,15	9,59	10,02	10,46	
3 12	3 24	3 36	3 48	4 00	4 12	4 24	4 36	4 48	5 00	5 12	5 24	5 36	5 48	6 00	6 12	6 24	0,45	0,90	1,36	1,81	2,26	2,71	3,17	3,62	4,07	4,52	4,97	5,43	5,88	6,33	6,78	7,24	7,69	8,14	8,59	9,05	9,50	9,95	10,40	10,85	
3 20	3 32	3 45	3 57	4 10	4 22	4 35	4 47	5 00	5 12	5 25	5 37	5 50	6 02	6 15	6 27	6 40	0,47	0,93	1,40	1,87	2,33	2,80	3,27	3,73	4,20	4,67	5,13	5,60	6,06	6,53	7,00	7,46	7,93	8,40	8,86	9,33	9,80	10,26	10,73	11,20	
3 28	3 41	3 54	4 07	4 20	4 33	4 46	4 59	5 12	5 25	5 38	5 51	6 04	6 17	6 30	6 43	6 56	0,48	0,96	1,44	1,91	2,39	2,87	3,35	3,83	4,31	4,78	5,26	5,74	6,22	6,70	7,18	7,65	8,13	8,61	9,09	9,57	10,05	10,52	11,00	11,48	
3 36	3 49	4 03	4 16	4 30	4 43	4 57	5 10	5 24	5 37	5 51	6 04	6 18	6 31	6 45	6 58	7 12	0,49	0,98	1,46	1,95	2,44	2,93	3,41	3,90	4,39	4,88	5,37	5,85	6,34	6,83	7,32	7,80	8,29	8,78	9,27	9,76	10,24	10,73	11,22	11,71	
3 44	3 58	4 12	4 26	4 40	4 54	5 08	5 22	5 36	5 50	6 04	6 18	6 32	6 46	7 00	7 14	7 28	0,49	0,99	1,48	1,98	2,47	2,97	3,46	3,96	4,45	4,95	5,44	5,93	6,43	6,92	7,42	7,91	8,41	8,90	9,40	9,89	10,39	10,88	11,37	11,87	
3 52	4 06	4 21	4 35	4 50	5 04	5 19	5 33	5 48	6 02	6 17	6 31	6 46	7 00	7 15	7 29	7 44	0,50	1,00	1,50	1,99	2,49	2,99	3,49	3,99	4,49	4,99	5,48	5,98	6,48	6,98	7,48	7,98	8,48	8,98	9,47	9,97	10,47	10,97	11,47	11,97	
4 00	4 15	4 30	4 45	5 00	5 15	5 30	5 45	6 00	6 15	6 30	6 45	7 00	7 15	7 30	7 45	8 00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,													

Ejemplo 3. Calcular la altura de la marea en La Coruña a las 13 25 hora oficial del día 15 de agosto de 2002.

La hora pedida corresponde a las 1125 TU. Los datos que encontramos en el anuario para la fecha indicada son:

Día	Hora	Altura
15	01 54	0.94
	08 12	3.33
	14 16	1.08
	20 42	3.36
S		

Por tanto, las horas y alturas de la pleamar y la bajamar más próximas son:

Hora PM	= 08 12	Altura = 3,33 m
Hora BM	= <u>14 16</u>	Altura = <u>1,08 m</u>
Duración	= 06 04	Amplitud= 2,25 m

Calculamos ahora el valor del intervalo comprendido entre el instante pedido y la bajamar más próxima:

Hora pedida	= 11 25
Hora bajamar	= <u>14 16</u>
Intervalo	= 02 56

Entramos en la parte izquierda de la *tabla para calcular la altura de la marea en un instante cualquiera* del anuario por la columna correspondiente al valor más próximo a la duración de la vaciante (6 04), y buscamos el valor más cercano al intervalo hasta la bajamar más próxima (2 56). A continuación buscamos en la misma fila, y en la parte derecha de la tabla, el valor contenido en la intersección con la columna encabezada con el valor más próximo a la amplitud de la marea (2,25). Encontramos los valores siguientes (ver página xxx):

DURACIÓN DE LA CRECIENTE O VACIANTE			AMPLITUD DE LA MAREA		
...	6 00	6 15	...	2.00	2.50
INTERVALO HASTA LA BM MÁS PRÓXIMA			CORRECCIONES ADITIVAS		
	2 48	2 55		0,90	1,12
	3 00	3 07		1,00	1,25

Una sencilla operación de interpolación nos da un valor igual a 1,09. Este valor es una corrección aditiva que, sumada a la altura de la bajamar, nos da la altura de la marea en el instante pedido:

Altura de BM	= 1,08 m
Corrección aditiva	= <u>1,09 m</u>
Altura a 11 25 TU	= 2,17 m

Por tanto, la altura de la marea a las 11 25 TU es **2,17 m**.

Regla de los doceavos

Esta regla permite estimar la altura de la marea a grandes rasgos, y se puede usar cuando no se requiere una gran precisión. La regla supone que la duración de la creciente o vaciante es aproximadamente igual a seis horas, y se formula así:

- En la primera hora, la marea sube (o baja) 1/12 de la amplitud.
- En la segunda hora, la marea sube (o baja) 2/12 de la amplitud.
- En la tercera hora, la marea sube (o baja) 3/12 de la amplitud.
- En la cuarta hora, la marea sube (o baja) 3/12 de la amplitud.
- En la quinta hora, la marea sube (o baja) 2/12 de la amplitud.
- En la sexta hora, la marea sube (o baja) 1/12 de la amplitud.

Ejemplo 4. En el ejemplo 3 se pide la altura de la marea a las 11 25 TU, es decir algo más de 3 horas después de la pleamar. En estas 3 horas, la marea habrá bajado

$$1/12 + 2/12 + 3/12 = 6/12 = 1/2 \text{ de la amplitud.}$$

Como la amplitud es 2,25 m, la marea habrá bajado aproximadamente 1,12 m, y por tanto la altura de la marea será aproximadamente igual a $3,33 - 1,12 = 2,11 \text{ m}$. La diferencia con el valor calculado con las tablas es de menos de 10 cm.

La regla de los doceavos da, en muchos casos prácticos, suficiente información para estimar la altura de la marea, teniendo en cuenta que siempre es necesario dejar un margen de seguridad para compensar las variaciones en el nivel del mar debidas al oleaje, las variaciones de presión atmosférica o el viento.

Hora en que la altura de la marea tendrá un valor dado

Los métodos anteriores se pueden utilizar también para resolver el problema inverso, es decir para calcular a qué hora se alcanzará una cierta altura de la marea.

Ejemplo 5. Calcular a qué hora la marea tendrá una altura igual a 0,70 m en Algeciras después de la primera bajamar del día 9 de diciembre de 2002.

En la tabla correspondiente a Algeciras en la primera parte del anuario de mareas (ver página xxx) encontramos los siguientes datos:

Día	Hora	Altura
9 S	05 26	0.91
	10 56	0.34
	17 47	0.84
	23 25	0.32

Las horas y alturas de la pleamar y la bajamar que nos interesan son:

Hora BM	= 10 56	Altura = 0,34 m
Hora PM	= 17 47	Altura = 0,84 m
Duración	= 06 51	Amplitud= 0,50 m

La diferencia entre la altura pedida y la altura en la bajamar (corrección aditiva) es:

Altura pedida	=0,70 m
Altura BM	=0,34 m
Diferencia	=0,36 m

Buscamos este valor en la parte derecha de la *tabla para calcular la altura de la marea en un instante cualquiera* y encontramos los siguientes datos:

DURACIÓN DE LA CRECIENTE O VACIANTE				AMPLITUD DE LA MAREA		
...	6 45	7 00	...	...	0.50	...
INTERVALO DESDE LA BM MÁS PRÓXIMA				CORRECCIONES ADITIVAS		
	4 16	4 26			0,35	
	4 30	4 40			0,37	

Interpolando encontramos un valor para el intervalo de 4h 30m. Sumando la hora de la bajamar se tiene:

Hora BM	= 10 56
Intervalo	= 4 30
Hora pedida	= 15 26

Por tanto, la hora pedida es las **15 26 TU**, o lo que es lo mismo las 16 26 oficiales.

Si no se desea gran precisión se puede aplicar también la regla de los doceavos. La variación de altura pedida es 0,36 m, que es algo menos de 9/12 de la amplitud de la marea (0,50 m). Por tanto, el tiempo necesario para que la marea suba esta cantidad sería de unas 4h para una duración de la creciente de 6 h. Como la duración de la creciente es notablemente superior (6h 51m = 6,85h), se puede aproximar mejor la duración del intervalo multiplicando por 6,85/6, con lo que resulta un valor de 4,57h = 4h 34m, muy similar al obtenido con las tablas.

Cálculo de las mareas por el método de Laplace

Este método proporciona resultados aproximados únicamente, pero tiene la ventaja de que se puede aplicar al cálculo de las mareas en un gran número de puertos que no figuran en las dos primeras partes del *Anuario de Mareas*. Se basa en el empleo de las siguientes *constantes no armónicas*:

- **Establecimiento de puerto, E_p :** es el valor medio del retraso de la pleamar con respecto al paso de la Luna por el meridiano (es decir, al momento en que la Luna alcanza su máxima altura sobre el horizonte) en un lugar determinado. Este valor se puede utilizar para calcular la hora de la pleamar en un lugar y una fecha determinada, conociendo la hora del paso de la Luna por el meridiano del lugar, que se calcula a partir de los datos que proporciona el *Almanaque Náutico*, y el establecimiento de puerto del lugar:

$$H_{PM} = H_{PML} \text{Luna} + E_p \quad (1)$$

- **Nivel medio, Z_0 :** es el valor medio de la altura de la marea en un lugar, que es constante para cada lugar.
- **Unidad de altura, U :** es el valor medio de la altura sobre o bajo el nivel medio en las mareas de zizigias. Es constante para cada lugar.
- **Coefficiente de marea, C :** es una medida de la intensidad de la marea en un momento determinado. Su valor en un momento determinado es constante para todo el mundo.

La tercera parte del *Anuario de Mareas* proporciona los valores del establecimiento de puerto, unidad de altura y nivel medio para una serie de puertos de todo el mundo. Por otra parte, la sección *tablas suplementarias* contiene una tabla con los coeficientes de marea para todos los días del año, a las 0h y 12h de TU. Conocidos estos valores, se pueden calcular las alturas de la pleamar y la bajamar por medio de las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} a_p &= Z_0 + C \cdot U \\ a_B &= Z_0 - C \cdot U \end{aligned} \quad (2)$$

La referencia de sonda de las cartas (bajamar escorada) corresponde a una marea de coeficiente 1,20. Por tanto, en general el coeficiente de marea será inferior a este valor. Las mareas vivas tienen un coeficiente en torno a la unidad, y las mareas muertas tienen coeficientes entre 0,4 y 0,5, por lo general.

Otros factores que influyen en la altura de la marea

Los fenómenos meteorológicos pueden afectar a la amplitud de las mareas. En general, un viento fuerte dirigido hacia la costa aumentará la altura de la marea, y un viento dirigido hacia fuera de la costa la reducirá.

Las variaciones de presión atmosférica también afectan al nivel del mar. La presencia de una zona de baja presión persistente puede elevar el nivel de la marea hasta 50 cm, y por el contrario, en una zona de alta presión la altura de la marea será por lo general menor. Aunque el efecto de la presión depende de otros factores, se puede aproximar por los valores que proporciona la *tabla de correcciones a sumar o restar a las alturas de mareas en función de la presión atmosférica* que contiene el Anuario de Mareas.

Corrientes de marea

Las mareas producen también corrientes, causadas por las diferencias de nivel a que dan lugar. Las corrientes de marea apenas se aprecian en alta mar, pero cerca de las costas, y en especial en las entradas a radas y puertos y en los estrechos pueden adquirir una intensidad considerable. En las radas y puertos la corriente suele dirigirse hacia el interior en la creciente, y hacia el exterior en la vaciante, pero la forma de la costa y la profundidad de las aguas pueden alterar notablemente este esquema. Los derroteros y otras publicaciones náuticas contienen información sobre las corrientes de marea, y algunas cartas náuticas también contienen este tipo de información.

Las corrientes de marea pueden combinarse con otras corrientes de tipo general. Por ejemplo, en el estrecho de Gibraltar hay una corriente general hacia el Este, debida al menor nivel medio del Mediterráneo con respecto al Atlántico. Esta corriente general se combina con las corrientes de marea en las zonas próximas a las costas europea y africana, dando lugar a corrientes mixtas. Las cartas del estrecho indican las horas en que cambia la dirección de las corrientes en distintas zonas, referidas a la hora de la pleamar en Tarifa.

Mareas y navegación

Las mareas pueden ayudar o estorbar a la navegación. Una marea alta puede ayudar a pasar un bajo que de otra manera sería impracticable, y una corriente de marea favorable puede ayudar a pasar un estrecho. Por el contrario, una marea baja puede impedir el paso por un canal, y una corriente de marea contraria puede dificultar el avance del barco. Si la corriente de marea va en dirección contraria a las olas, la pendiente de éstas aumenta, pudiendo llegar a romper la mar. Si, por el contrario, la corriente va a favor de las olas, disminuye su pendiente y la navegación se hace más cómoda y segura.

Intervalo horario para tener una sonda determinada

La altura de la marea nos da la altura del nivel del agua sobre el nivel de referencia (bajamar escorada). Sin embargo, la información que necesitamos para navegar con seguridad en una zona determinada es la sonda, es decir la profundidad del fondo en el lugar en que nos encontramos. Como las sondas que figuran en las cartas náuticas españolas están medidas con respecto al mismo nivel de referencia (figura 8.3), la sonda que tendremos

en cada momento en un punto determinado será igual a la suma de la sonda que marca la carta y de la altura de la marea en ese momento:

$$S_m = S_c + a \quad (3)$$

donde S_c es la sonda indicada en la carta, a es la altura de la marea en el momento que nos interesa, y S_m es la sonda que se mide en el punto en ese mismo instante.

A la hora de calcular la sonda mínima que necesitamos para pasar por un punto hay que tener siempre en cuenta que la profundidad real puede ser distinta de la calculada debido a factores como la presión atmosférica o el viento. También podemos cometer errores de situación que hagan que la sonda de carta sea distinta de la que suponemos al hacer los cálculos. Por último, cuando hay oleaje el nivel del agua desciende en el seno de cada ola por debajo del nivel de la marea. Por todo ello, hay que añadir siempre un margen de seguridad al calado del barco para calcular la sonda mínima que se requiere, en función de las condiciones atmosféricas y de la incertidumbre que se tenga sobre la situación del barco. Un valor igual a la mitad de la amplitud de la marea, con un mínimo entre 0,5 y 1 m, resulta adecuado en la mayoría de los casos.

Ejemplo 6. El día 6 de noviembre de 2002 queremos entrar en el puerto de Algeciras en torno al mediodía con un barco cuyo calado es igual a 1,6 m. ¿Entre qué horas podremos pasar por un punto cuya sonda en la carta es de 1,5 m?

Consultando la tabla correspondiente a Algeciras en el anuario obtenemos los siguientes datos para el día 6:

Día	Hora	Altura
6	02 38	1,11
	08 12	0,12
X	14 54	1,13
	20 39	0,07

Por tanto, en la parte central del día la marea sube hasta las 14 54. Calculamos la duración y la amplitud de la creciente:

Hora BM	= 08 12	Altura = 0,12 m
Hora PM	= <u>14 54</u>	Altura = <u>1,13 m</u>
Duración	= 06 42	Amplitud= 1,01 m

Tomamos un margen de seguridad igual a 0,5 m, con lo que se necesita tener una sonda igual o superior a 2,10 m. A partir de este valor se calcula la altura mínima de la marea para pasar por el punto en cuestión:

Calado	= 1,60 m
Margen de seguridad	= <u>0,50 m</u>
Profundidad requerida	= 2,10 m
Sonda de la carta	= <u>1,50 m</u>
Altura de la marea	= 0,60 m

Por tanto, hay que calcular el intervalo durante el cual la altura de la marea es igual o superior a 0,60 m. La diferencia con la bajamar más cercana es:

Altura pedida	= 0,60 m
Altura en la bajamar	= <u>0,12 m</u>
Corrección aditiva	= 0,48 m

Mareas

Entrando con este valor en la *tabla para calcular la altura de la marea en un instante cualquiera*, en la columna correspondiente a la amplitud de la marea (1,0 m), se obtiene como duración del intervalo para tener esta altura 3h 22m:

DURACIÓN DE LA CRECIENTE O VACIANTE			AMPLITUD DE LA MAREA		
...	6 45	...	...	1,00	...
INTERVALO DESDE LA BM MÁS PRÓXIMA			CORRECCIONES ADITIVAS		
...	3 22	...	...	0,50	...

Sumando este valor a la hora de la bajamar tenemos:

Hora BM = 08 12
Intervalo = 3 22
Hora pedida = 11 34

Por tanto, a partir de las 11 34 TU (12 34 de hora oficial) podremos pasar con seguridad. Si queremos saber hasta qué hora podremos efectuar el paso, repetimos los cálculos para la vaciante:

Hora PM = 14 54 Altura = 1,13 m
Hora BM = 20 39 Altura = 0,07 m
Duración = 05 45 Amplitud = 1,06 m

La corrección aditiva buscada será ahora:

Altura pedida = 0,60 m
Altura en la bajamar = 0,07 m
Corrección aditiva = 0,53 m

El intervalo correspondiente a esta corrección se obtiene de la *tabla para calcular la altura de la marea en un instante cualquiera*:

DURACIÓN DE LA CRECIENTE O VACIANTE			AMPLITUD DE LA MAREA		
...	5 45	...	...	1,00	...
INTERVALO DESDE LA BM MÁS PRÓXIMA			CORRECCIONES ADITIVAS		
...	2 52	...	...	0,50	...

y la hora pedida es, por tanto:

Hora BM = 20 39
Intervalo = 2 52
Hora pedida = 17 47

Por tanto, podremos pasar con seguridad entre las **11 34** y las **17 47 TU**, es decir entre las **12 34** y las **18 47** de hora oficial.

Podríamos haber obtenido un resultado similar aplicando la regla de los doceavos. La altura pedida es aproximadamente igual a 1/2, es decir 6/12, de la amplitud de la marea. Por tanto, el intervalo desde o hasta la bajamar es próximo a 3 horas (3h 21m para la creciente y 2h 52m para la vaciante, tomando las duraciones respectivas). Por tanto, podemos pasar por el punto pedido entre las 11 15 y las 17 40 TU, aproximadamente. Dando un margen de tiempo adicional de 10 o 15 minutos tendremos agua de sobra bajo la quilla.

A

Símbolos y abreviaturas

A	Apartamiento.
Ab, α	Ángulo de abatimiento.
a _B	Altura de la bajamar.
a _p	Altura de la pleamar.
BM	Bajamar.
Br	Babor.
C	(1) Corrección de la hora oficial. (2) Coeficiente de la marea.
CET	<i>Central Europe time.</i>
D	Demora.
D _a	Demora de aguja.
D _m	Demora magnética.
D _v	Demora verdadera.
Δ	Desvío de la aguja.
$\Delta l, \Delta \varphi$	Diferencia de latitud.
$\Delta L, \Delta \lambda$	Diferencia de longitud.
d	Distancia
d _c	Distancia de corredera.
d _s	Distancia de superficie.
d _e	Distancia efectiva.
d _m , δ	Declinación magética.
E	Este.
ECDIS	<i>Electronic chart display and information system</i> , sistema de información y visualización de cartas electrónicas.
ENC	<i>Electronic nautical chart</i> , carta náutica electrónica.
E _p	Establecimiento de puerto.
Er	Estribor.
fm	<i>fathoms</i> , brazas (1 braza = 6 pies = 1,827 m).
ft	<i>feet</i> , pies (1 pie = 0,3045 m).
φ, l	Latitud.
φ_a, l_a	Latitud aumentada.

GPS	<i>Global position system</i> , sistema mundial de situación.
Hc	Hora civil u hora solar media.
HcG	Hora civil en Greenwich.
HcL	Hora civil del lugar.
HI	Hora legal.
Ho	Hora oficial.
H _{PM}	Hora de la pleamar.
H _{PML}	Hora de paso por el meridiano del lugar.
HRB	Hora del reloj de bitácora.
h	Horas.
i _h	Intensidad horaria de la corriente.
IHM	Instituto Hidrográfico de la Marina.
IHO	<i>International Hydrographic Organization</i> , ver OHI.
K	Coeficiente de corredera.
kn	<i>knots</i> , nudos.
l, φ	Latitud.
L, λ	Longitud.
Λ	Equivalente en tiempo de la longitud.
M	(1) Marcación. (2) Millas.
m	(1) Metros. (2) Minutos.
N	Norte.
N _m	Norte magnético.
n	Nudos.
OHI	Organización Hidrográfica Internacional, ver también OHI.
PM	Pleamar.
R	Rumbo
Ra	Rumbo de aguja.
Rc	Rumbo de la corriente.
Re	Rumbo efectivo o rumbo sobre el fondo.
Rm	Rumbo magnético.
Rs	Rumbo de superficie.
S	Sur.
s	Segundos.
TU, UT	Tiempo u hora universal.
TUC, UTC	Tiempo universal coordinado.
U	Unidad de altura de la marea.
UT	<i>Universal time</i> (TU).
UTC	<i>Universal time coordinated</i> (TUC).
Vc	Velocidad de corredera.
Vs	Velocidad de superficie.
Ve	Velocidad efectiva.
W	Oeste.
WGS	<i>World Geodetic System</i> .
Z	(1) Acimut. (2) Zona horaria.
Z ₀	Nivel medio de la marea.

B Organismos relacionados con la navegación

Organismos nacionales españoles

El Instituto Hidrográfico de la Marina

El Observatorio Astronómico de la Armada

La Dirección General de la Marina Mercante

Las Capitanías Marítimas

Organismos internacionales

La Organización Hidrográfica Internacional