

PARTE 6

NAVEGACION Y MANIOBRAS DE BUQUES

6.1. INTRODUCCION	173
6.2. CURVAS EVOLUTIVAS	173
6.2.1. DEFINICION Y ESTUDIO ELEMENTAL DEL MOVIMIENTO DEL BUQUE	173
6.2.2. ANGULO DE DERIVA Y PUNTO GIRATORIO	175
6.2.3. CARACTERISTICAS DE LA CURVA EVOLUTIVA	176
6.2.4. VARIACION DE PARAMETROS DE NAVEGACION RELACIONADOS CON LA CURVA EVOLUTIVA	178
6.2.5. DETERMINACION DE LAS CURVAS EVOLUTIVAS DE UN BUQUE	181
6.3. EXTINCION NATURAL Y FORZADA DE LA ARRANCADA DEL BUQUE (PARADA DEL BUQUE)	185
6.3.1. DEFINICION Y FACTORES QUE INFLUYEN	185
6.3.2. EVALUACION DE LAS DISTANCIAS DE PARADA	188
6.4. ESTUDIOS DE MANIOBRAS	189

6.01.	Esquema de fuerzas que actúan en la evolución de un buque	174
6.02.	Trayectoria del buque en evolución	176
6.03.	Forma típica de una curva evolutiva	177
6.04.	Efecto del viento de proa sobre la curva evolutiva	180
6.05.	Efecto de la corriente sobre la curva evolutiva	181
6.06.	Avance de la curva evolutiva para un cambio de rumbo de 90°. Buques a plena carga en profundidades de agua ≥ 5 x calado del buque	182
6.07.	Desviación lateral de la curva evolutiva para un cambio de rumbo de 90°. Buques a plena carga en profundidades de agua ≥ 5 x calado del buque	183
6.08.	Diámetro del círculo de rotación para buques a plena carga. Buques a plena carga en profundidades de agua ≥ 5 x calado del buque	184
6.09.	Curvas evolutivas típicas	185
6.10.	Esquema de fuerzas que actúan en la extinción forzada de la arrancada de un buque	186

6.1. INTRODUCCION

A lo largo de los tres capítulos anteriores se ha analizado el buque y las fuerzas que pueden actuar sobre él, ya sean internas o externas, dependientes o independientes de la voluntad del maniobrista. Conocidas estas fuerzas y las propias características del buque, el análisis de sus movimientos y de los espacios ocupados es un problema abordable por los procedimientos de la física general; sin embargo, aunque las ecuaciones generales del movimiento pueden ser planteadas sin dificultad, la resolución de estas ecuaciones y la determinación de estas trayectorias y espacios ocupados viene dificultada por dos aspectos prácticos:

- Por una parte muchas de las fuerzas que intervienen en el cálculo son variables en función de múltiples condiciones (profundidad de agua, estado del mar, clima marítimo, orientación del buque, etc.).
- Por otra parte gran número de fuerzas dependen de la voluntad del maniobrista, quien puede hacerlas cambiar continuamente del modo que estime más favorable para la navegación o maniobra que esté desarrollando.

Con estos supuestos el estudio teórico de la trayectoria o movimientos del buque queda limitado a unos cuantos casos singulares normalizados que sirven para medir la capacidad de gobierno de un buque y que deben ser contrastados por medio de curvas experimentales realizadas para cada barco, que han de estar disponibles para su consulta en el puente de mando, según las disposiciones de la Organización Marítima Internacional. De estas maniobras son de interés para las Areas de Navegación y Flotación objeto de esta ROM las Curvas Evolutivas y las Maniobras de Parada (o Extinción de la Arrancada), cuyo análisis se recoge en este capítulo.

Por lo que se refiere a maniobras no normalizadas en las que intervienen decisivamente la voluntad del maniobrista no tiene gran interés un estudio teórico de las mismas y habitualmente se recurre al análisis estadístico de espacios ocupados, ya sea por medición real, en modelo físico o con simulador para conocer los requerimientos exigidos por el buque en sus movimientos. Las maniobras de este tipo que pueden contemplarse son infinitas si bien existe un conjunto de ellas que son las más habituales y cuyo conocimiento contribuye a formar un criterio con el que podrían analizarse otras no contempladas. En la presente ROM se ha optado por recoger estas maniobras más habituales en un Anejo I, en el convencimiento de que su conocimiento podrá contribuir a entender porque se especifican posteriormente en los capítulos VII y VIII determinados requerimientos de espacio; este conocimiento será imprescindible si se recurre al uso de simuladores o ensayos en modelo en los que precisamente deberán ensayarse este tipo de maniobras u otras similares.

6.2. CURVAS EVOLUTIVAS

6.2.1. DEFINICION Y ESTUDIO ELEMENTAL DEL MOVIMIENTO DEL BUQUE

En general se llama curva evolutiva o curva de evolución a la trayectoria descrita por el centro de gravedad de un buque cuando se le hace girar manteniendo un régimen de máquinas y un ángulo de timón constante. Las representaciones gráficas de esas curvas para diferentes velocidades y ángulos de timón se llaman diagramas evolutivos y dan una excelente visión de conjunto sobre el comportamiento del buque, permitiendo al maniobrista prever la trayectoria que seguirá el buque en las condiciones concretas en que se encuentre.

Para analizar este movimiento del buque deben contemplarse tres fases, que se presentan consecutivamente desde el inicio de la operación, denominadas, de maniobra, variable y uniforme. La fase de maniobra comprende desde el instante en que se empieza a

meter el timón hasta que la pala llega a alcanzar el ángulo deseado. La fase variable es aquella en la que el ángulo del timón permanece constante pero no se ha alcanzado el equilibrio dinámico entre todas las fuerzas que actúan sobre el buque y por tanto el movimiento del barco es variable. Finalmente la fase uniforme es la que se produce a partir del momento en que se alcanza dicho equilibrio y dura mientras no se alteren las condiciones de máquinas y timón en las que se desarrolla la evolución.

El análisis de las fuerzas que se generan sobre el buque y de sus efectos durante las tres fases se recoge esquemáticamente en la figura 6.01. Antes de iniciar la fase de maniobra las únicas fuerzas que actúan son el empuje del propulsor « T_p » y la resistencia al avance « R_a »; si el movimiento es rectilíneo y uniforme ambas fuerzas están situadas en el plano de crujía y son iguales y de sentido contrario (posición 1 de la figura 6.01).

En cuanto se inicia la fase de maniobra y se empieza a meter el timón (posición 2) aparece la fuerza « P_T » perpendicular a su pala, que ocasiona el momento evolutivo sobre el buque haciéndole caer a la banda correspondiente con un ángulo de deriva « β » con respecto a la trayectoria, aunque, debido a la inercia, en los primeros instantes el buque continuará manteniendo su plano de crujía en la dirección inicial; además del efecto anterior, la descomposición de la fuerza « P_T » en sentido longitudinal y transversal al buque, produce una fuerza opuesta a la propulsora que disminuye la velocidad del barco y una componente transversal que hace abatir al buque hacia la banda contraria a la que se ha mantenido el timón.

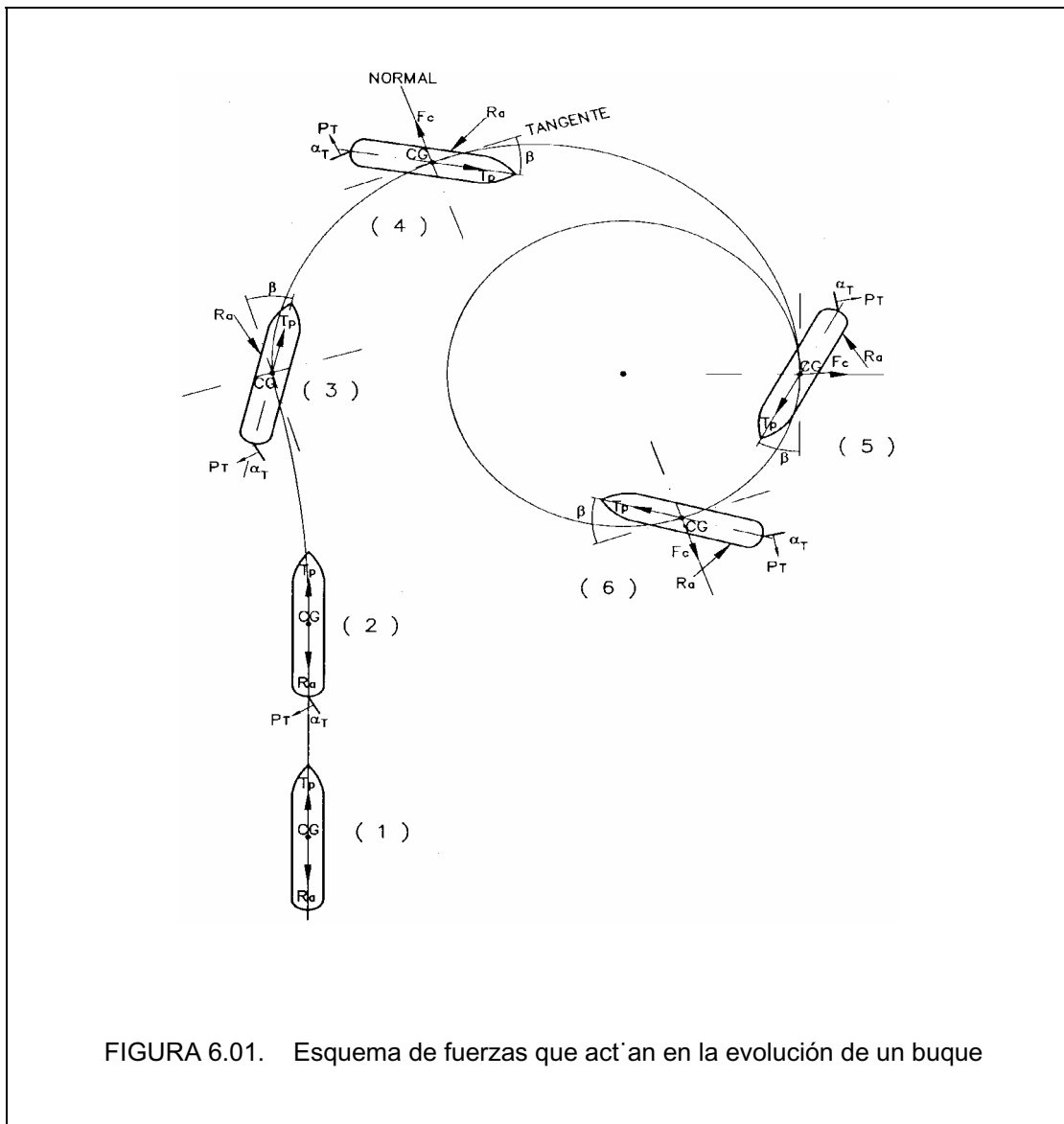


FIGURA 6.01. Esquema de fuerzas que actúan en la evolución de un buque

La fase de maniobra continúa desarrollándose según va aumentando el ángulo del timón (posiciones 3 y 4) hasta alcanzar el ángulo deseado que es la posición reflejada como «4» en la figura 6.01. Durante esta etapa las fuerzas actuantes son el empuje del propulsor « T_p », la resistencia al avance « R_a », la fuerza en la pala del timón « P_T » y la fuerza centrífuga « F_c » que actuará según la normal a la trayectoria. De estas fuerzas conviene destacar que la Resistencia al avance deja de estar situada en el plano de crujía ya que debido a la deriva « β » con que navega el buque, la resistencia al avance no es simétrica en ambas bandas, produciéndose un desplazamiento progresivo del punto de aplicación de « R_a » hacia popa dado que los elementos de la carena que ofrecerán mayor resistencia serán los más alejados del centro instantáneo de rotación en los que la velocidad es mayor. El establecimiento de las condiciones de equilibrio de este sistema de fuerzas permitirá deducir las ecuaciones del movimiento. La posición «3» de la figura 6.01 representa el instante en que las componentes de « T_p », « R_a » y « P_T » según la normal a la trayectoria se equilibran entre si y por tanto la fuerza centrífuga « F_c » es nula, lo que equivale a decir que el radio de curvatura es infinito y es por tanto el punto de inflexión de la trayectoria.

La fase variable se desarrolla desde la posición «4» en la que el ángulo del timón ha alcanzado su valor deseado hasta la posición «5» en la que se alcanza el equilibrio dinámico de todas las fuerzas. El sistema de fuerzas existente en esta fase es el mismo descrito en la etapa anterior, con la particularidad de que la carga sobre el timón « P_T » y el momento evolutivo correspondiente han alcanzado su valor máximo y no pueden crecer más, con lo cual necesariamente llegará un instante en el que se equilibren los momentos ocasionados por la carga en el timón « P_T » y la resistencia al avance « R_a », resultando una aceleración angular del plano de crujía nula o lo que es lo mismo una velocidad angular constante de dicho plano de crujía. Al mismo tiempo que sucede esto, al alcanzarse el equilibrio entre todas las fuerzas longitudinales, la aceleración longitudinal del centro de gravedad del buque será también nula y la velocidad de traslación, por tanto, constante. Finalmente, el equilibrio de las fuerzas transversales obliga a que la fuerza centrífuga sea constante, y como la velocidad de traslación también lo es, resulta que el radio de curvatura de la trayectoria permanece también constante, convirtiéndose ésta en un círculo, con lo cual toda la fase uniforme esquematizada en la posición (6) de la figura 6.01 se convierte en un movimiento circular con velocidad uniforme y ángulo de deriva fijo.

6.2.2. ANGULO DE DERIVA Y PUNTO GIRATORIO

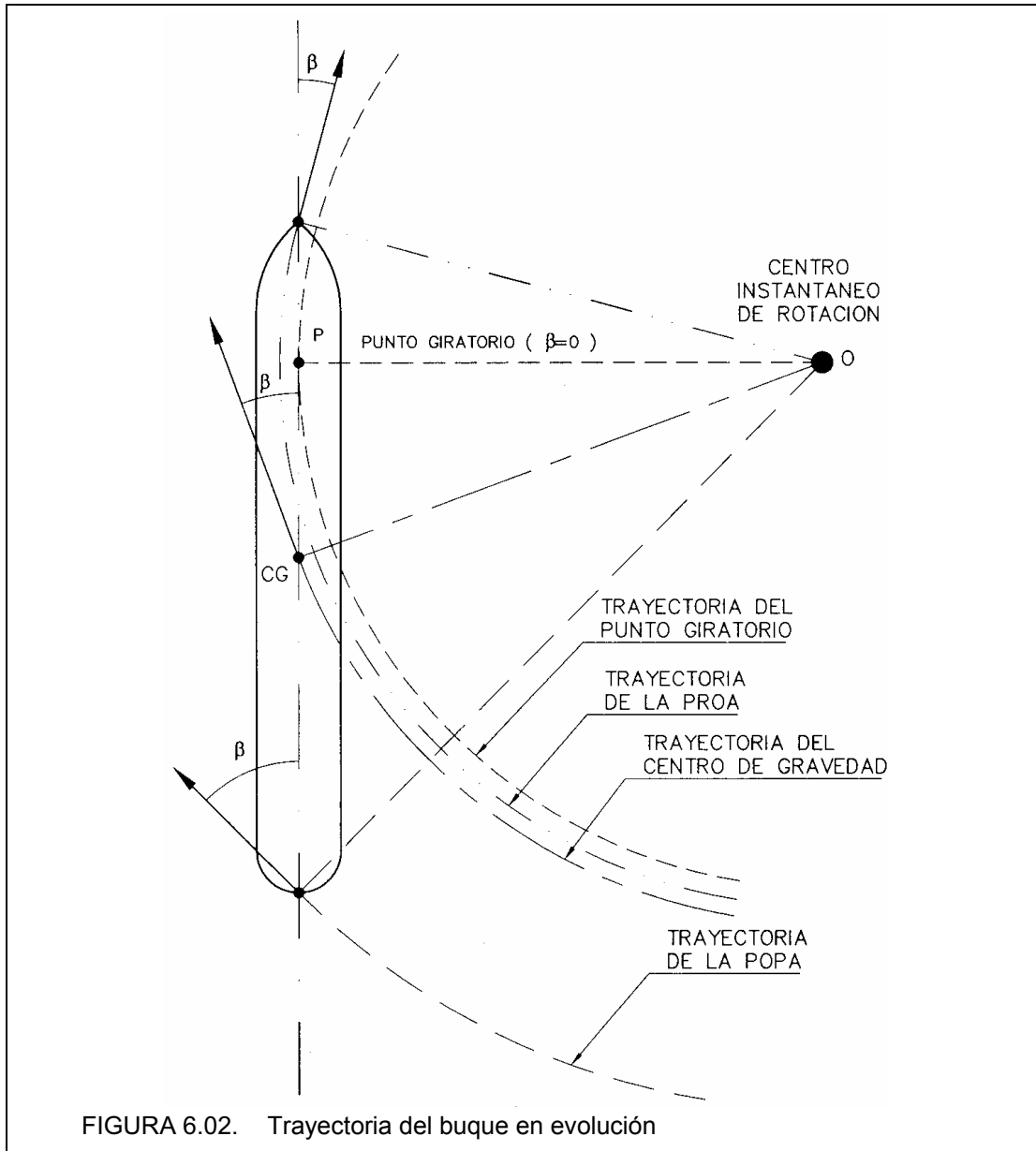
Si se consideran las distintas trayectorias descritas por diferentes puntos de un buque en plena evolución (ver figura 6.02) se ve que cada uno de ellos sigue una curva prácticamente concéntrica con la trayectoria recorrida por el centro de gravedad CG.

El ángulo formado por la dirección de la quilla con la tangente geométrica a la trayectoria descrita por cualquier punto del plano de crujía del buque se llama ángulo de deriva de dicho punto en el instante considerado. Este ángulo tiene el máximo valor en la popa, disminuyendo gradualmente a medida que se desplaza hacia proa, llega un momento en que se anula (al alcanzarse una posición P más cercana a la proa que a la popa), y después va creciendo progresivamente hasta la roda, pero en este último tramo tiene sentido opuesto, pues la tangente cae en la proa a estribor de crujía y en la popa lo hacía a la banda contraria. El ángulo de deriva depende de muchos factores: forma de la obra viva, características del timón, tipo, tamaño y velocidad del buque, dirección e intensidad del viento, etc. En el caso particular de un buque determinado y a igualdad de otras condiciones, varía según el ángulo de timón aplicado durante la evolución.

Volviendo a la figura 6.02, al punto P de la crujía donde el ángulo de deriva es nulo se le llama punto giratorio o punto pivote del buque, y se caracteriza, de acuerdo con lo antes expuesto, porque en él la dirección de la quilla coincide con la tangente geométrica a la trayectoria, o sea, que allí el eje longitudinal del buque es perpendicular al radio de curvatura PO de la trayectoria evolutiva, siendo O el correspondiente centro instantáneo de rotación. Esto significa también que el punto giratorio es aquél en que el vector velocidad está dirigido en todo momento según el plano de crujía.

El punto giratorio es el centro de rotación aparente sobre el cual gira el buque al hacerlo virar con timón, y un observador ubicado en esa posición, verá que la proa cae hacia el interior de la trayectoria y que la popa lo hace en sentido contrario durante una evolución.

El punto pivote no tiene una posición fija sino que se desplaza sobre la línea de crujía, hacia proa o hacia popa, y su ubicación está influenciada por los mismos factores que afectan al ángulo de deriva, especialmente por la forma de la carena. Para un cierto buque depende más de la velocidad instantánea del mismo que del ángulo de timón aplicado. A efectos prácticos es conveniente establecer una posición aproximada del punto giratorio.



En los buques grandes con cascos de forma convencional (graneleros, mercantes, portaaviones, petroleros, etc.), su ubicación promedio se encuentra a un tercio ($1/3$) de eslora de la proa. En buques más rápidos (ferríes, transbordadores, etc.) puede estar aún más adelante, a $1/6$ de eslora de la roda y en embarcaciones muy rápidas y livianas el punto giratorio puede incluso llegar a ocupar una posición por delante de la proa cuando giran a alta velocidad.

Para buques en movimiento con arrancada hacia atrás el punto giratorio se desplaza hacia popa, y normalmente se ubica en una posición más cercana a la popa que a la proa. Por otra parte, el asiento también influye sobre el punto giratorio, desplazándose éste hacia proa o popa cuando el buque está más aproado o aporado, respectivamente. En cierta medida también se desplaza algo hacia proa cuando el buque está en lastre, y hacia popa cuando está muy cargado.

6.2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA CURVA EVOLUTIVA

Resumiendo lo expuesto en el apartado anterior, puede concluirse que la curva evolutiva es la trayectoria descrita por el centro de gravedad del buque cuando al barco se le hace caer con ángulo de timón constante.

La figura 6.03 representa la forma típica de una curva evolutiva cuando no existen vientos, oleajes ni corrientes, y en ella se aprecia que, como ocurre normalmente, luego de

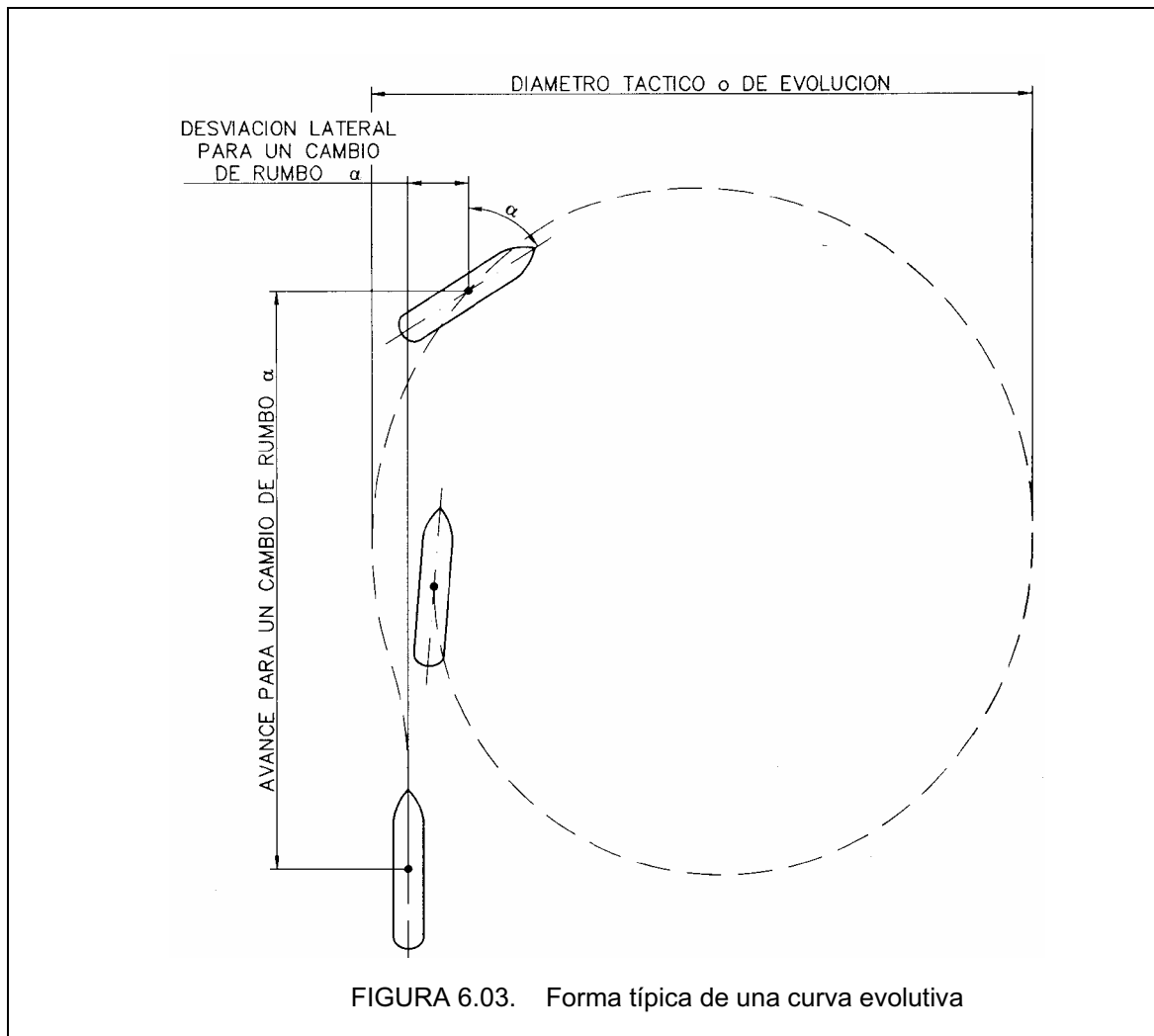


FIGURA 6.03. Forma típica de una curva evolutiva

completar los 360° de caída, el buque se encuentra en una posición (3) algo más a proa y ligeramente dentro de la que ocupaba cuando se puso timón a la banda (1).

A efectos de poder comparar los rasgos característicos de diferentes curvas evolutivas y facilitar el uso de los datos que proporcionan, se definen los términos siguientes:

- Avance de un buque para cierto cambio de rumbo es la distancia que se desplaza su centro de gravedad en la dirección del rumbo original, medida desde la posición donde se puso timón a la banda.
- Desviación lateral de un buque para cierto cambio de rumbo es la distancia que se desplaza su centro de gravedad en dirección perpendicular al rumbo original, y medida desde la posición donde se puso timón a la banda.

El avance y la desviación lateral son pues las coordenadas ortogonales de la curva evolutiva cuando se adoptan como ejes de referencia la dirección del rumbo original y su normal, tomando como origen el punto en que inicialmente se puso timón a la banda. Cuando se hace mención simplemente al avance o a la desviación sin especificar la magnitud del cambio de rumbo se sobreentiende que los valores indicados corresponden a una caída de 90°.

- Diámetro táctico, o de evolución, es la mayor distancia obtenida proyectando la curva evolutiva sobre la normal al rumbo inicial.
- Diámetro final, o de rotación, es el diámetro de la curva evolutiva durante el período uniforme, es decir cuando la trayectoria se hace prácticamente circular.

6.2.4. VARIACION DE PARAMETROS DE NAVEGACION RELACIONADOS CON LA CURVA EVOLUTIVA

Del estudio de las curvas evolutivas correspondientes a diferentes tipos de buques pueden obtenerse las conclusiones siguientes:

1. Avance y desviación lateral

Para una caída de 90° el avance es considerablemente mayor que la desviación lateral. Para ángulos de timón de 35° el alcance varía entre 3 y 5 esloras; se reduce al incrementar el ángulo de timón aplicado y aumenta con la velocidad del buque. Para ese mismo ángulo de timón la desviación lateral para 90° varía por lo general entre 2 y 3 esloras; disminuye al aumentar el ángulo de timón, pero es casi independiente de la velocidad.

2. Diámetro táctico y final

Para una misma velocidad y profundidad del agua ambos diámetros disminuyen cuando aumenta el ángulo de timón aplicado. Para igual profundidad de agua y deflexión de la pala los diámetros sufren poca variación para distintas velocidades, con tal que éstas sean suficientes como para garantizar una buena efectividad de gobierno por parte del timón. Para una misma velocidad y ángulo del timón ambos diámetros varían con la profundidad de agua disponible, aumentando ambos diámetros cuando la profundidad de agua se reduce, siendo este efecto más acusado cuanto más pequeño es el ángulo del timón. Para profundidades de agua de 1,2 veces el calado del buque, el incremento de los diámetros puede ser del 75% sobre los correspondientes a una profundidad de agua de 5 veces el calado del buque; si la profundidad de agua es de 1,5 veces el calado del buque, este incremento de los diámetros puede ser del orden del 20 ó 30%.

3. Influencia de la forma del casco

La forma de la obra viva afecta a las dimensiones de la curva evolutiva. De dos buques de similar eslora y calado, el que tiene carena más afinada necesita más espacio para girar que el que posee curvas más llenas; lo mismo ocurre con el buque que a igualdad de otras características generales es relativamente más largo.

Cuanto más rectangular sea la parte sumergida del plano de crujía tanto mayor es el diámetro táctico. Para profundidades de agua superiores a 5 veces el calado del buque y para ángulos de timón de 35° , el diámetro táctico suele estar comprendido entre 4 y 6 esloras para buques a plena carga de alta relación eslora/manga y formas finas y entre 3 y 4 esloras para buques a plena carga de baja relación eslora/manga y formas llenas.

La Normativa actual de la Organización Marítima Internacional (OMI) limita el valor máximo admisible del diámetro táctico de los buques de nueva construcción con eslora mayor de 100 m en grandes profundidades de agua, a 5 esloras para ángulos de timón de 35° .

4. Influencia del calado y de las condiciones de carga

Las diferencias de calado del buque afectan a sus condiciones de maniobra, teniendo los buques en carga, en general, una curva evolutiva de mayores dimensiones que cuando están en lastre. El asiento del buque tiene así mismo un efecto apreciable en las cualidades evolutivas, aumentándose el diámetro táctico cuando el buque está apopado y reduciéndose cuando está aproado; el efecto del asiento es por tanto desplazar la posición del punto giratorio hacia el extremo que cala más.

5. Tiempo de evolución

Para un mismo ángulo de timón la duración de la evolución disminuye al aumentar la velocidad. Para igual velocidad el tiempo se reduce al incrementar el ángulo de timón. Para completar una caída en el menor tiempo posible se deberá usar todo el timón a la banda y máxima velocidad.

6. Velocidad lineal

Por efecto de la resistencia del timón y del ángulo de deriva que adquiere el buque, se produce una pérdida progresiva de velocidad respecto del fondo durante los primeros 90° de caída, pese a que las hélices se mantienen girando a igual número de revoluciones por minuto que antes de iniciar la evolución. Ello se debe a que el buque se desplaza con un cierto ángulo de deriva, no aprovechando las líneas hidrodinámicas de su carena. El valor o proporción en que la velocidad lineal se reduce varía mucho para diferentes tipos de bu-

ques y depende de la velocidad inicial y del ángulo de timón aplicado. La mayoría de los buques, al evolucionar con todo timón a la banda, pierden entre 1/3 y 1/2 de su velocidad cuando han girado unos 90° y su velocidad final que mantienen uniforme puede estar comprendida entre 1/3 y 2/3 de su velocidad inicial.

7. Velocidad angular

La velocidad angular de caída, que era nula al iniciarse la evolución, alcanza su valor máximo antes de que la proa llegue a virar 90°, y después disminuye ligeramente tornándose constante en el período final de rotación uniforme. Con todo timón a la banda en grandes profundidades de agua puede variar entre uno y tres grados por segundo dependiendo del tipo de buque.

8. Angulo de deriva

Aumenta con el ángulo de timón y con la profundidad de agua disponible, pero es prácticamente independiente de la velocidad. Para ángulos del timón de 35° y grandes profundidades de agua el ángulo de deriva en el centro de gravedad del buque varía en general entre 5 y 10°, pero excepcionalmente puede alcanzar valores de 15 a 20°.

9. Rabeo de la popa en evoluciones

En la figura 6.02 se observa que el radio de curvatura de la trayectoria descrita por la popa es algo mayor que el correspondiente a la trayectoria del centro de gravedad, que por definición es precisamente la curva evolutiva, y en consecuencia la popa se separará tanto más de dicha curva cuanto mayor sea el ángulo de deriva dentro del tramo considerado. Cuando se maniobra en aguas limitadas y en proximidades de obstáculos, bajos fondos u otros buques, resulta muy importante tener en cuenta ese movimiento, llamado rabeo de la popa, y tomar en consideración que ese extremo del buque barre el agua tanto más hacia afuera de la curva evolutiva, cuando más reducido sea el valor del diámetro táctico medido en número de esloras.

Este hecho debe ser tomado en consideración cuando se traza por anticipado la derrota que seguirá el buque en aguas restringidas. Un ejemplo típico se presenta cuando para entrar a puerto se hace necesario efectuar una caída de gran amplitud para pasar entre dos escolleras o tomar el primer par de boyas del canal de acceso. En tal caso, y siempre que sea posible, se tratará de no ejecutar esa maniobra con gran ángulo de timón para evitar el peligro involucrado por el rabeo de la popa.

10. Efecto de la hélice única en las evoluciones

En buques de una sola hélice de paso a la derecha, y debido a la acción de la fuerza lateral que tiende ligeramente a llevar la proa a babor en marcha avante, es usual que se encuentre que la curva evolutiva con timón a esa banda tenga un diámetro algo menor, en alrededor del 10%, que la correspondiente a estribor, para similares condiciones de velocidad y ángulo de timón. Si la hélice tiene paso a izquierda resulta lo contrario, es decir que la curva evolutiva efectuada con timón a babor es la que tiene dimensiones algo mayores.

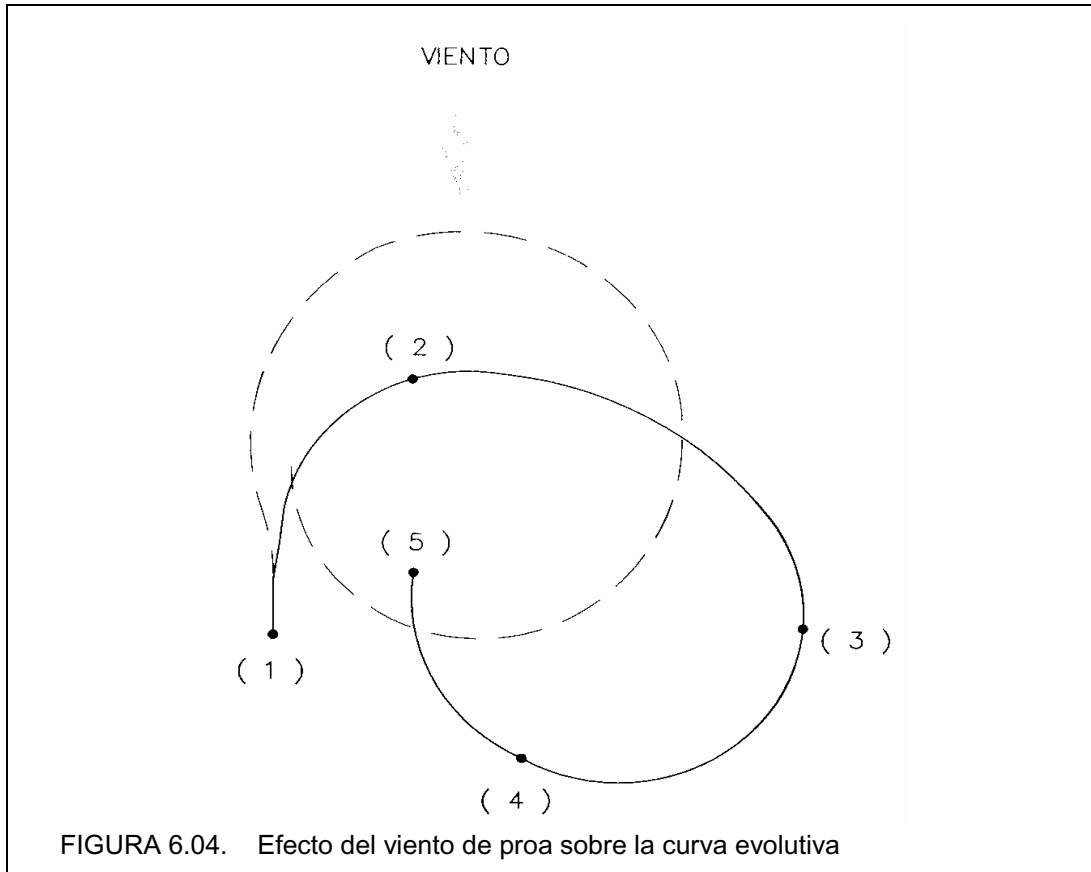
11. Curvas evolutivas en buques con hélices gemelas

Las curvas descritas por buques de dos hélices en condiciones similares de velocidad y timón a cada banda son simétricas entre sí y tienen formas análogas a las ya consideradas previamente.

Si se invierte la marcha de la hélice de la banda de caída durante la evolución, la curva resultante es bastante distinta, pero las diferencias en el primer cuadrante no son demasiado notables. La velocidad del buque se ve drásticamente reducida, en un 70 al 80% con relación a la que conservaría en caso de seguir con ambas máquinas avante, y el tiempo empleado para caer 180° se incrementa. En lo que respecta a las dimensiones de la curva evolutiva, el efecto de caer en estas condiciones es normalmente reducir el diámetro táctico; el avance por lo general resulta poco afectado.

12. Efectos del viento sobre la curva evolutiva

El viento deforma la curva evolutiva típica y la modificación que sufre depende de la fuerza y dirección del viento con respecto al rumbo inicial del buque antes de iniciar la caída. La forma de la curva resultante varía según el tipo de buque considerado y la intensidad y dirección de actuación del viento, dado que el abatimiento y la desviación lateral no son



uniformes durante toda la evolución, y, por tanto, la velocidad angular de caída del buque se acelera o retarda de acuerdo con el ángulo de incidencia del viento respecto del plano de cruzía. Suponiendo que se parta de un rumbo inicial con viento de proa (ver fig. 6.04), en general se experimentan las siguientes fases:

- Al poner timón a la banda (1), el buque cae rápidamente por tener gran facilidad para arribar hasta alcanzar la posición de equilibrio en marcha avante, en (2).
- Mientras recibe el viento del través a la aleta existe dificultad para seguir cayendo de arribada; la velocidad angular disminuye y ello produce un alargamiento de la curva en a dirección perpendicular al viento, entre (2) y (3).
- De (3) a (4) la tendencia a orzar facilita la caída y aumenta la velocidad angular de rotación.
- De (4) a (5) se presentan dificultades para seguir orzando a partir del momento en que el buque alcanza la posición de equilibrio en marcha avante, especialmente en buques pequeños de poca potencia.

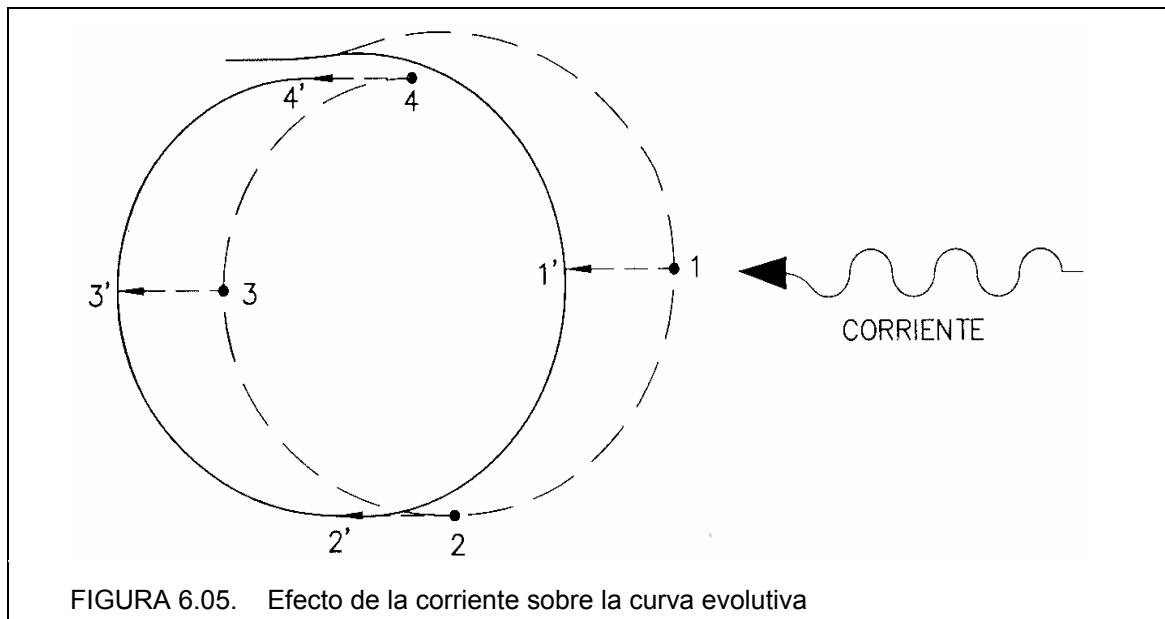
Si el buque continúa el movimiento manteniendo el ángulo del timón, se repite el proceso en los círculos posteriores originándose una trayectoria en tirabuzón desplazada en la dirección media de la deriva ocasionada por la acción del viento.

13. Efectos de la corriente sobre la curva evolutiva

Cuando el buque evoluciona sobre una masa de agua animada de velocidad uniforme, su curva evolutiva conserva la forma típica sobre el espejo líquido, pero se deforma con respecto al fondo, alargándose en el sentido en que la corriente fluye. Ver figura 6.05.

La corriente puede a veces llevar al buque a una posición bastante alejada del lugar en que inició la caída. En la figura se muestra cómo los puntos 1, 2, 3 y 4 se trasladan en la dirección en que tira la corriente hasta ocupar las posiciones 1', 2', 3' y 4'. El arrastre que sufren es proporcional a la velocidad de la corriente y al intervalo de tiempo en que aquella actuó en cada caso.

Si el buque continúa el movimiento manteniendo el ángulo del timón, se repite el proceso en los círculos posteriores originándose una trayectoria en tirabuzón desplazada en la dirección en que actúa la corriente.



6.2.5. Determinación de las curvas evolutivas de un buque

Para analizar las maniobras de un buque en concreto es fundamental contar con sus diagramas evolutivos para diferentes ángulos de timón y para las velocidades que el buque usa normalmente.

Por lo general tales diagramas se confeccionan en base a pruebas muy precisas y completas que se realizan con el primer buque de una misma clase, antes de que se incorpore al servicio. Pese a ello, como pueden existir diferencias aun entre buques similares, es muy corriente someter a todo buque nuevo, o que haya sufrido modificaciones, a una amplia serie de experiencias evolutivas, no sólo para verificar los datos disponibles, sino también para compenetrarse con su comportamiento en diversas condiciones.

En el supuesto de que no se disponga de las curvas evolutivas de los buques que se analizan, puede establecerse sus dimensiones medias aproximadas utilizando los diagramas que se recogen en las figuras 6.06, 6.07 y 6.08, en donde se determina el avance, la desviación lateral para un cambio de rumbo de 90° y el diámetro del círculo de rotación para buques de quilla plana a plena carga navegando en profundidades de agua mayores de 5 veces el calado del buque, sin viento, oleajes o corrientes, en función del coeficiente de bloque del buque (C_b), la eslora entre perpendiculares (L_{pp}), e ángulo del timón (α_T) y el Factor de timón F_t que se calcula mediante la expresión:

$$F_t = \frac{S_t}{L_{pp} \cdot D}$$

siendo:

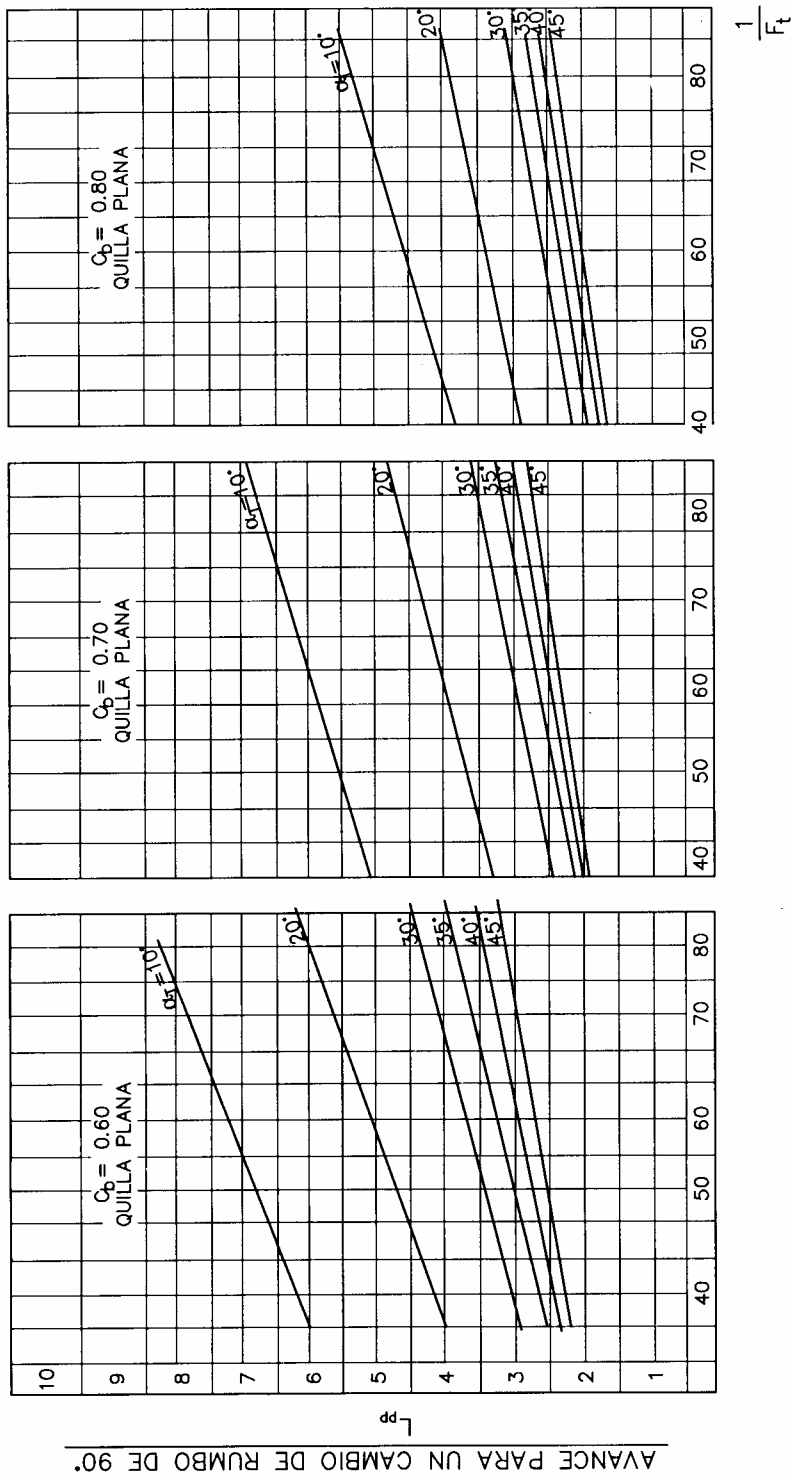
S_t = Superficie de la pala del timón (ver apartado 3.4.2).

L_{pp} = Eslora entre perpendiculares del buque.

D = Calado del buque a plena carga.

En la utilización de los diagramas anteriores no se utilizarán nunca ángulos de timón superiores a 35°. En el supuesto de que se precise conocer los valores anteriores para otras profundidades de agua iguales o menores de 5 veces el calado del buque, se multiplicarán los valores obtenidos en las tablas por 1,25 para profundidades de agua de 1,5 veces el calado del buque y por 1,75 para profundidades de agua de 1,2 veces el calado del buque, pudiendo interpolarse linealmente para valores intermedios.

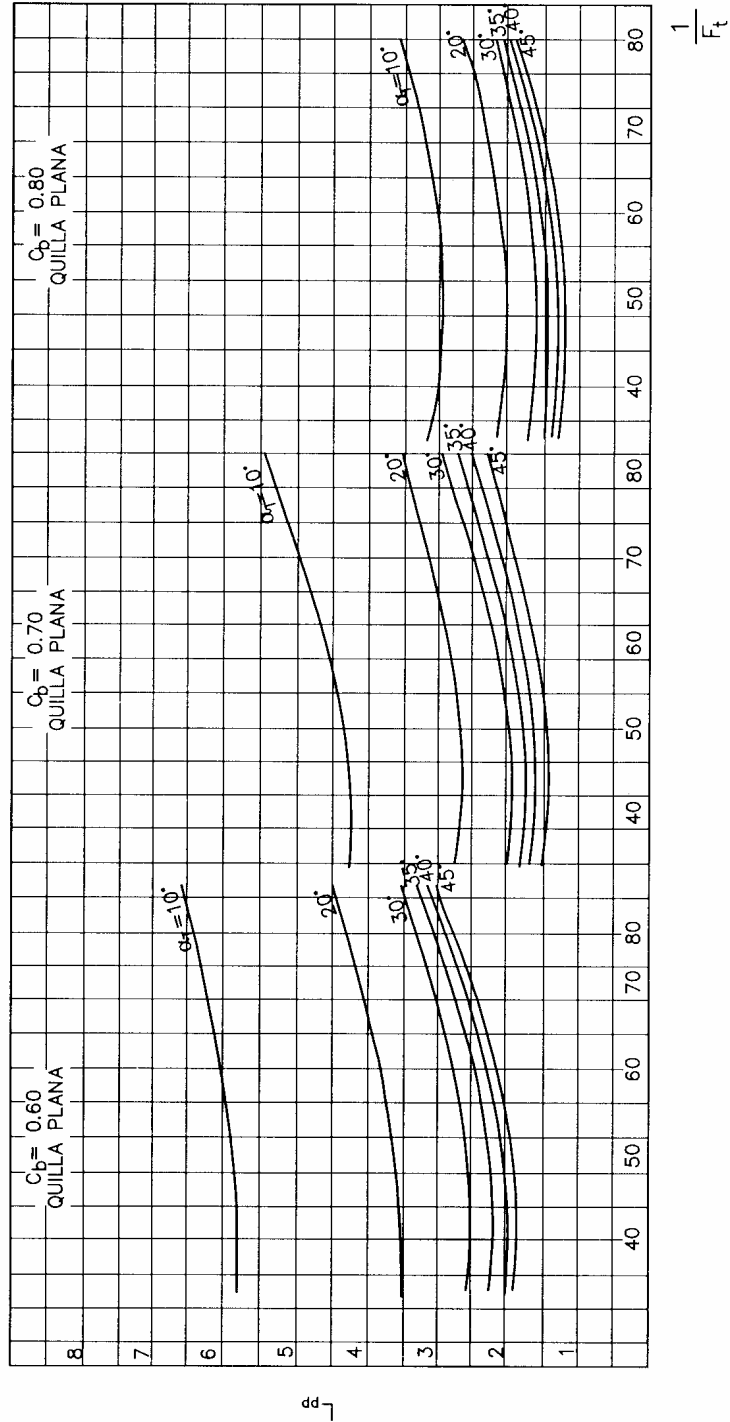
A título indicativo se recoge en la fig. 6.09 las dimensiones medias y máximas de la curva evolutiva para buques graneleros y petroleros en carga (de coeficiente de bloque alto) navegando en profundidades de agua mayores o superiores a cinco veces su calado, sin vientos, oleajes o corrientes y a velocidad de servicio, si bien las variaciones son poco significativas para otras velocidades como ya se indicó anteriormente.



C_b = COEFICIENTE DE BLOQUE
 L_{pp} = ESLORA ENTRE PERPENDICULARES
 F_t = FACTOR DEL TIMON
 α_r = ANGULO DEL TIMON

FIGURA 6.06. Avance de la curva evolutiva para un cambio de rumbo de 90°. Buques a plena carga en profundidades de agua $\geq 5 \times$ calado del buque

DESVIACION LATERAL PARA UN CAMBIO DE RUMBO DE 90°



- C_b = COEFICIENTE DE BLOQUE
- L_{pp} = ESLORA ENTRE PERPENDICULARES
- F_t = FACTOR DEL TIMON
- α_r = ANGULO DEL TIMON

FIGURA 6.07. Desviación lateral de la curva evolutiva para un cambio de rumbo de 90°. Buques a plena carga en profundidades de agua $\geq 5 \times$ calado del buque

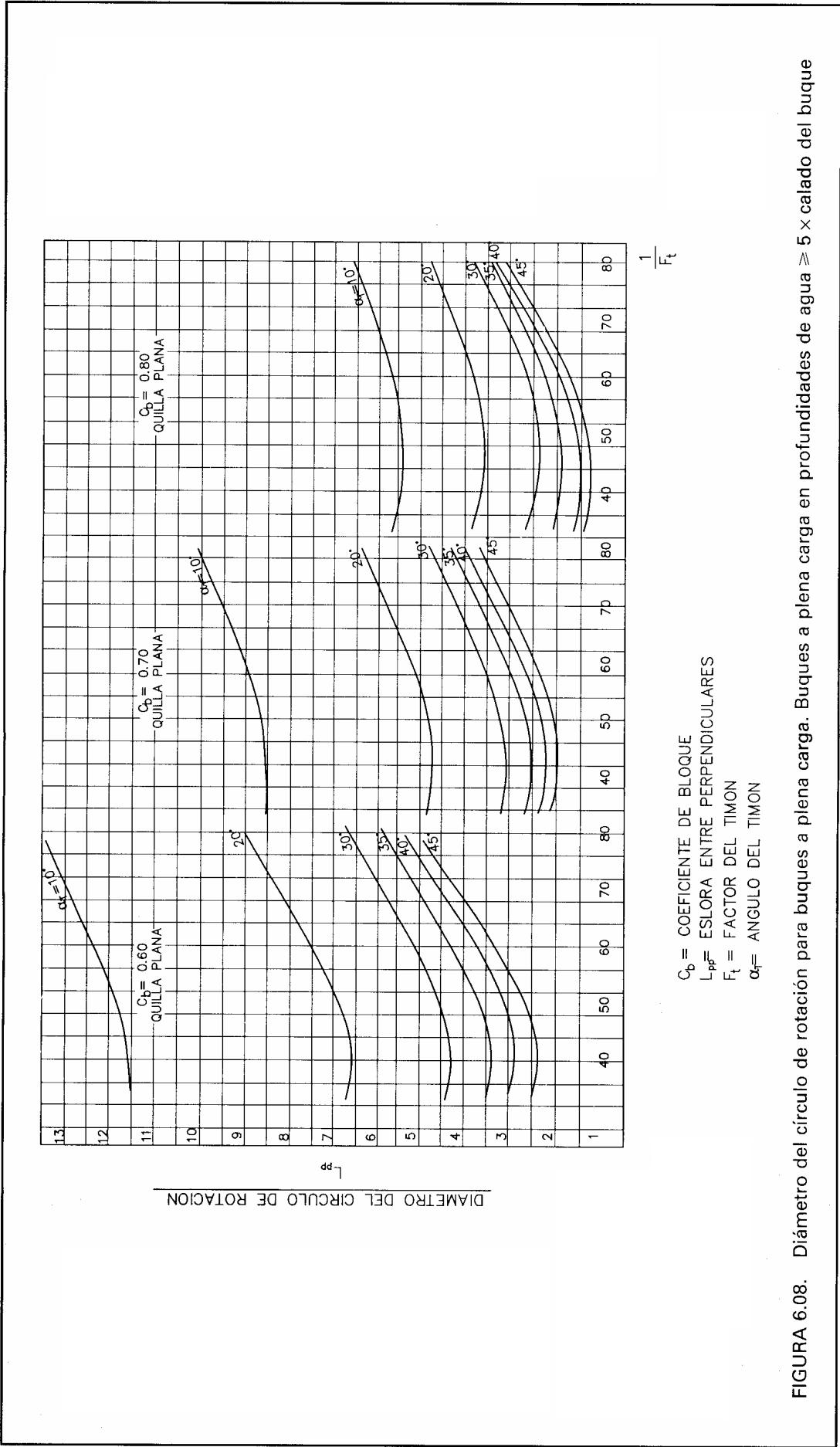
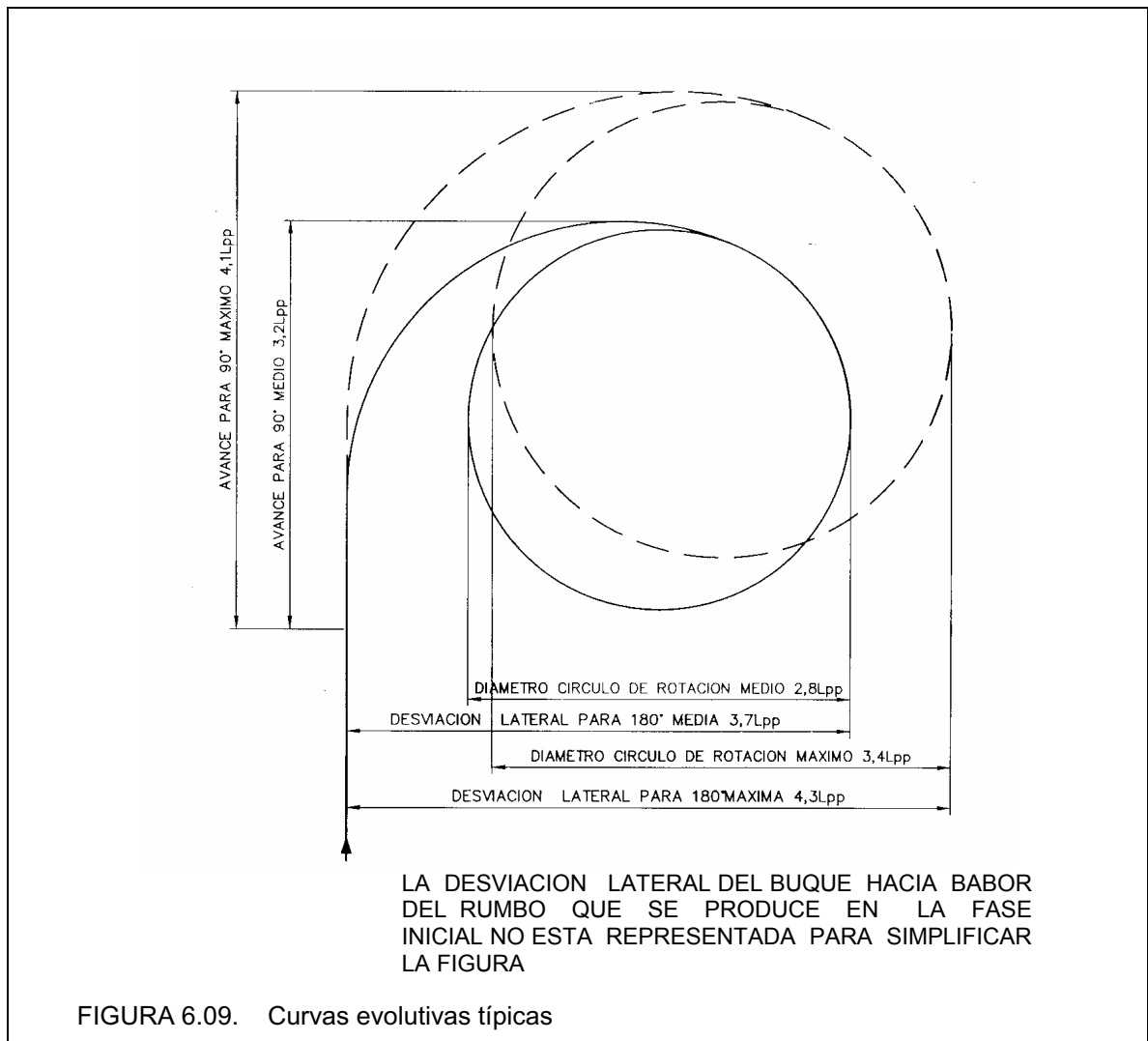


FIGURA 6.08. Diámetro del círculo de rotación para buques a plena carga en profundidades de agua $\geq 5 \times$ calado del buque



6.3. EXTINCION NATURAL Y FORZADA DE LA ARRANCADA DEL BUQUE (PARADA DEL BUQUE)

6.3.1. DEFINICION Y FACTORES QUE INFLUYEN

6.3.1.1. La extinción natural o forzada de la arrancada del buque es la maniobra que se efectúa para parar el buque. En el caso de que este proceso se realice parando las máquinas se trataría de la extinción natural, y en el supuesto más frecuente de que se cambiase el sentido de empuje de las hélices para actuar en marcha atrás, se trataría de la extinción forzada.

El análisis de las fuerzas que se generan sobre el buque y de sus efectos queda recogido esquemáticamente en la figura 6.10, que corresponde a un proceso de extinción forzada del arranque. Antes de iniciarse la fase de maniobra y supuesto un movimiento rectilíneo y uniforme, posición (1) de la figura, las únicas fuerzas que actúan sobre el buque son el empuje del propulsor « T_p » y la resistencia al avance « R_a » que serán iguales y de sentido contrario. Al desarrollarse la maniobra de parada, la fuerza del propulsor será nula en el supuesto de extinción natural de la arrancada u opuesta al movimiento en caso de extinción forzada, posición (2) de la figura, con lo cual en ambos casos se generará un movimiento variable de desaceleración en el que la resistencia al avance irá también disminuyendo al disminuirse la velocidad del buque, produciéndose el equilibrio de fuerzas con la fuerza de inercia « F_i » ocasionado por la desaceleración que actúa sobre el buque. En el supuesto de que la maniobra se efectuase siguiendo una trayectoria curva el esquema conceptual subsiste, si bien el sistema de fuerzas que intervendrían en el proceso sería más complejo al intervenir todas las asociadas al movimiento curvilíneo, que, entre otras consecuencias producen un efecto de frenado con lo cual se acorta la distancia de parada.

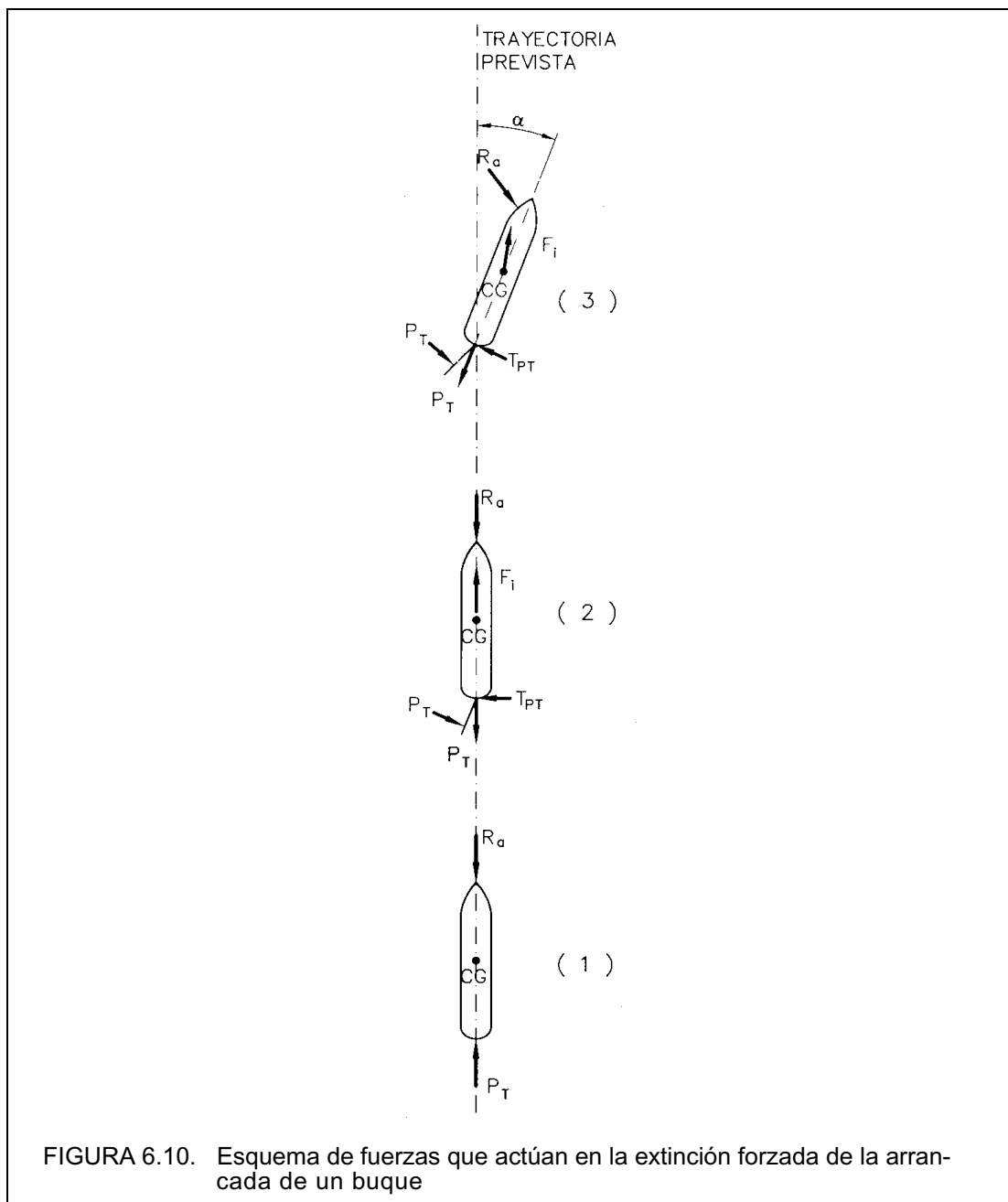


FIGURA 6.10. Esquema de fuerzas que actúan en la extinción forzada de la arrancada de un buque

Supuesta la parada de un buque dotado de una sola hélice, sobre una trayectoria prefijada, en la medida que va desarrollándose la maniobra aumenta la componente transversal de la fuerza que se genera en la hélice « T_{PT} » (ver apartado 3.3.2) componente que podrá ir compensándose con la acción del timón « P_T », posición 2 de la figura, por lo que el buque podrá seguir manteniendo la trayectoria prevista. Sin embargo al final de la maniobra de parada la eficacia del timón es muy reducida y la componente transversal de la fuerza generada en la hélice quedaría descompensada produciéndose un momento evolutivo que tiende a sacar al buque de su trayectoria, lo que a su vez ocasiona que la Resistencia ai avance y la Fuerza de inercia salgan del plano de crujía, posición (3) de la figura, con el resultado para el caso analizado de que el centro de gravedad del buque cae a estribor de la trayectoria inicial y el plano de crujía del buque toma un ángulo « a » respecto a dicha trayectoria, situación que subsiste en régimen variable hasta el final de la maniobra. En el caso de tratarse de buques de dos hélices con sentido de giro opuestos este efecto se compensa y el buque podrá mantenerse sobre la trayectoria prevista sin desviaciones.

En el supuesto de que existan vientos, oleajes o corrientes durante la maniobra de parada habrá que tener en cuenta las derivas o movimiento del buque producidos por estas acciones, que serán especialmente significativas en el tramo final de la maniobra de parada, cuando ya no existe prácticamente capacidad de gobierno del buque.

6.3.1.2. La distancia que un buque con arrancada avante recorre en extinción natural después de parar sus máquinas hasta detenerse por completo depende fundamentalmente de los siguientes factores : su velocidad inicial, su desplazamiento, su estado de carga, la forma y condiciones de limpieza de su carena, la profundidad del agua, los efectos del viento, el mar y las corrientes y su sistema de propulsión.

El factor más importante es el desplazamiento, y se comprueba que, a igualdad de otras condiciones, el buque mayor conserva más tiempo su arrancada. Análogamente para un mismo buque y a igual velocidad inicial se cumple que cuando está bien cargado recorre una distancia mayor hasta pararse que cuando está con menor calado o completamente en lastre, y en este último caso puede darse que el espacio recorrido sea $1/2$ ó $1/3$ del correspondiente a plena carga. Entre dos buques de similar desplazamiento y dimensiones, el de líneas más finas mantiene su arrancada más tiempo que el de formas más llenas. Por otra parte, un buque que acaba de salir carenado de dique seco y tiene sus fondos limpios recorrerá una distancia mayor que cuando su obra viva está cubierta de incrustaciones.

La presencia de profundidades de aguas reducidas produce un efecto de frenado importante al aumentar la resistencia al avance, que se manifiesta especialmente con buques grandes cuando se les manobra en las aguas restringidas de los puertos con poco margen de agua por debajo de la quilla.

Las distancias y tiempos requeridos para que un buque se detenga por completo al parar sus máquinas se determinan experimentalmente para distintas velocidades iniciales en condiciones de mar calmo, sin viento ni corriente, en un lugar libre de tráfico marítimo y sin limitaciones de profundidad. Lo ideal es calcularlas sobre bases o millas medidas realizando dos comprobaciones en sentidos opuestos y promediando los valores. Los datos así determinados corresponden a la extinción natural de la arrancada, y en realidad resultan de poca utilidad práctica, ya que los buques normalmente recurren a la extinción forzada de su marcha avante dando máquinas atrás.

La determinación de la distancia de parada en extinción forzada puede hacerse experimentalmente, efectuando mediciones en maniobras en las que se invierta la propulsión en similares condiciones de máquinas que las que corresponde al caso real, y de hecho todos los buques deben tener disponible sus características de comportamiento en tales supuestos; no obstante el cálculo de la distancia de parada puede abordarse por procedimientos matemáticos tal como se recoge en el apartado siguiente, desarrollado para paradas en tramos rectos, o mediante ensayos en modelo o estudios con simulador.

Efectuando maniobras en curvas y otras especiales de zig-zag, etc., cuyo análisis excede el alcance de estas Recomendaciones, pueden reducirse estas distancias, si bien con caídas transversales más significativas en relación con la dirección de avance del buque.

6.3.1.3. La determinación de las caídas transversales máximas que se presentan en el punto más desfavorable del buque (suma de los producidos por la desviación lateral del centro de gravedad más las debidas al ángulo de guiñada) en el tramo final de la maniobra de parada es más compleja ya que depende de las condiciones inerciales del buque en la fase final de la maniobra. Del estudio de múltiples maniobras efectuadas con simulador pueden extraerse la siguientes conclusiones aplicadas a maniobras de parada en tramo recto:

- La caída del buque se produce en el último tramo de la maniobra cuando la velocidad del barco es menor de 1,5 m/s. A una distancia de una eslora del punto final de la maniobra no se producen desviaciones significativas en la trayectoria del buque.
- Las caídas son muy heterogéneas, dependiendo del tipo y capacidad de maniobra del barco, sin que lleguen a exceder de una eslora del buque, supuesto que no existan vientos, oleajes ni corrientes.
- La caída es mayor cuanto más elevada es la profundidad existente.
- La caída crece con el tiempo empleado por el buque en parar y, en general, es mayor cuando la velocidad inicial del buque es más elevada y cuando el régimen de motor atrás es menor.
- La actuación de hélices transversales tiene influencia en los metros finales de la maniobra cuando la velocidad del buque es muy reducida.

En el caso de que la parada se efectúe sobre trayectorias curvas el comportamiento del buque es más difícil de prever ya que actúan otras fuerzas asociadas al movimiento curvilíneo. Del estudio de maniobras efectuado con simulador puede en general concluirse que los efectos anteriormente indicados para maniobras en tramo recto se potencian, y así la caída del buque empieza a manifestarse cuando la velocidad es menor de 2,0 m/s y a una distancia de 1,5 esloras del punto final de la maniobra. Las caídas son más heterogéneas y pueden superar e valor de una eslora, por lo que en general es recomendable que se evite efectuar maniobras de parada sobre tramos curvos, salvo que se efectúen estudios específicos al respecto.

6.3.2. EVALUACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE PARADA

Para la determinación de las distancias de parada en navegación rectilínea, cuando la maniobra se efectúa sin ayuda de remolcadores trabajando en retenida, deben tomarse en consideración dos parámetros fundamentales: La Resistencia del buque al avance « R_a » y el Empuje del Propulsor en marcha atrás « T_p ». A altas velocidades predomina la Resistencia del buque al avance, mientras que para las velocidades normales en áreas portuarias y vías navegables es más importante el empuje del propulsor en marcha atrás.

Para las Áreas de Navegación y Flotación objeto de esta ROM en los que la velocidad del barco al inicio de la maniobra de parada no excede de 6 m/s (≈ 12 nudos), la distancia de parada puede calcularse por el método de Chase simplificado, con la expresión siguiente:

$$D_p = \frac{I}{2} \cdot \frac{\Delta}{g} C_m \cdot V_o^2 \left[1 - 0,32 \frac{R_{ao}}{T_p} \right] \cdot \frac{I}{T_p} + \frac{t_{ri} \cdot V_o}{2}$$

en donde:

D_p = Distancia de parada

Δ = Desplazamiento del buque, expresado en peso

g = Aceleración de la gravedad

C_m = Coeficiente de masa hidrodinámica que es el cociente entre la masa total del sistema en movimiento (buque + agua que se moviliza con él) y la masa del buque. Para este tipo de movimiento puede adoptarse un valor de $C_m = 1,08$

V_o = Velocidad absoluta del buque en el momento de iniciarse la maniobra de parada

R_{ao} = Resistencia del buque al avance en el momento de iniciarse la maniobra de parada

T_p = Empuje del propulsor en marcha atrás durante la maniobra de parada. En el supuesto de que no se conozca este empuje podrá efectuarse una estimación del mismo suponiendo que el empuje del propulsor en régimen de máquinas «todo atrás» tiene un valor igual a los 2/3 del empuje propulsor con máquinas avante a velocidades de servicio, que podrá evaluarse con los criterios recogidos en el apartado 3.3.1. Este empuje del propulsor en régimen de máquinas «todo atrás» sólo se utilizará para el cálculo de distancias de parada en maniobras de emergencia; para el cálculo de la distancia de parada en maniobras normales se supondrá que el régimen de máquinas atrás es «media» en cuyo caso el empuje del propulsor en marcha atrás podrá evaluarse en 1/3 del empuje del propulsor con máquinas avante a velocidades de servicio.

t_{ri} = Tiempo de reacción necesario para invertir el empuje del propulsor desde el momento en que se inicia la maniobra de parada hasta que se alcanza el valor T_p en marcha atrás, para el que se adoptará, en ausencia de datos más concretos, un valor de 20 s.

La formulación anterior está determinada en el supuesto de que se cumplan las dos condiciones siguientes:

$$T_p \geq R_{ao}$$

$$\frac{R_{ao} \cdot g \cdot t_{ri}}{\Delta \cdot C_m \cdot V_o} \leq 0,6$$

condiciones que normalmente se cumplen en las Áreas objeto de esta ROM.

En el supuesto de que la maniobra de parada se efectúe con la ayuda de remolcadores trabajando en retenida, podrá calcularse la Distancia de Parada con la misma formulación anterior, sumando al empuje del propulsor « T_p » la componente longitudinal de las fuerzas horizontales « F_{Ri} » resultante de la acción de los remolcadores que actúen sobre el buque. Se hace notar que para poder considerar esta ayuda deberán ser del tipo adecuado para permitir tomar el cabo del buque en navegación e invertir después su sistema de propulsión para poder aplicar un tiro de retenida al buque de sentido opuesto al de avance del remolcador.

6.4. ESTUDIO DE MANIOBRAS

Para resolver un determinado problema de maniobra, del que se derivarán los subsiguientes requerimientos de áreas de flotación, es aconsejable desarrollar el estudio en tres fases.

- Estudio de todos los factores que influyen en el problema.
- Planteamiento de las diversas soluciones posibles y elección de las que sean factibles y aceptables.
- Estudio de situaciones de emergencia.

a) PRIMERA FASE: ESTUDIO DEL PROBLEMA DE MANIOBRA PLANTEADO

Consiste en establecer y analizar todos los factores que afectan o pueden tener influencia sobre la maniobra, con la finalidad de asegurar el mas amplio y completo conocimiento del problema a resolver. Es necesario estudiar todos los aspectos importantes relacionados con la maniobra a realizar, lo que implica consultar la información disponible en derroteros, listas de faros y señales marítimas, tablas de mareas y de corrientes, cartas y planos de puertos, reglamentos locales, etc. Además hay que tomar en consideración las condiciones climáticas existentes en la zona y las correspondientes a las condiciones límites de operación admisibles y aplicar los conocimientos que se tengan del buque que se maniobra, en especial lo referido a datos evolutivos, eslora, calados, gobierno, inercia, etc.

b) SEGUNDA FASE: SELECCION DE LAS MANIOBRAS FACTIBLES Y ACEPTABLES

Una vez cumplido el paso anterior se pueden concebir distintas soluciones posibles del problema de maniobra planteado. Dichas soluciones deben ser sometidas a una doble prueba de factibilidad y aceptabilidad. Se considera que una maniobra es factible cuando tiene razonables probabilidades de ser ejecutada con éxito aprovechando adecuadamente tanto los elementos con que cuenta el buque como los externos que puedan prestar su asistencia. La aceptabilidad se refiere a las consecuencias de la maniobra desde el punto de vista de la seguridad, entendiéndose por tal no sólo la seguridad del buque que se maneja, sino también la de otros próximos que se puedan ver eventualmente afectados por una mala maniobra del buque propio o las instalaciones que puedan existir en el emplazamiento.

Puede ocurrir que para un mismo problema de maniobra exista más de una solución factible y aceptable. Aunque previsiblemente el maniobrista seleccione siempre la mejor, por comparación de sus respectivas ventajas y desventajas, a efectos de dimensionamiento del área de flotación deben considerarse todas ellas para deducir la envolvente de superficies, a no ser que se decida eliminar algunas de las maniobras factibles, en cuyo caso dicha limitación debe incorporarse al Reglamento de Operaciones del puerto.

c) TERCERA FASE: ESTUDIO DE SITUACIONES DE EMERGENCIA

Una vez analizadas y definidas las maniobras que se consideren factibles y aceptables, es necesario analizar los supuestos que se pueden presentar en casos de emergencia, entre los que pueden citarse: errores de maniobra, fallos de los sistemas del buque o de los medios auxiliares (amarras, remolcadores, etc.), modificación de las condiciones climáticas existentes en el inicio de la maniobra, o incluso aquellas provocadas por agentes externos a la propia maniobra, como puede ser la necesidad de efectuar salidas de emergencia producidas por siniestros o accidentes en instalaciones próximas al buque.

En todos estos casos, y si bien se pueden aceptar resguardos o márgenes de seguridad más estrictos que en los supuestos normales de operación, debe verificarse que las ma-

maniobras siguen siendo factibles sin ocasionar situaciones de riesgo inaceptables. Esta consideración es especialmente importante cuando se navega en aguas restringidas, ya que la presentación de un fallo o de una situación de emergencia puede dar lugar a situaciones muy arriesgadas. El estudio de estas situaciones de emergencia normalmente conducirá a una mejora de los procedimientos de operación, reforzando las medidas que contribuyan a incrementar la seguridad y eliminando las maniobras que conllevan riesgos inaceptables.

Como ya se indicó anteriormente, en el Anejo n° 1 de la presente ROM se analizan una serie de maniobras de navegación de uso habitual, sin que sea factible contemplar todas las que pueden presentarse, ya que en la práctica no existen dos maniobras iguales ni siquiera refiriéndose al mismo buque y Area de Flotación, ya que es infinita la variación de las condiciones en que deben desarrollarse.