

# PARTE 7

---

# REQUERIMIENTOS EN ALZADO



<b>7.1. ALCANCE DEL CAPITULO</b> .....	199
<b>7.2. DETERMINACION DE PROFUNDIDADES DE AGUA DE LAS AREAS DE NAVEGACION Y FLOTACION</b> .....	199
7.2.1. INTRODUCCION .....	199
7.2.2. CRITERIOS GENERALES .....	200
7.2.3. FACTORES RELACIONADOS CON EL BUQUE .....	200
7.2.3.1. CALADO ESTATICO DE LOS BUQUES .....	200
7.2.3.2. CAMBIOS EN LA DENSIDAD DEL AGUA .....	202
7.2.3.3. SOBREALADO POR DISTRIBUCION DE CARGAS .....	202
7.2.3.4. TRIMADO DINAMICO O «SQUAT» .....	203
7.2.3.5. MOVIMIENTOS DEL BUQUE PRODUCIDOS POR EL OLEAJE .....	207
7.2.3.6. ESCORAS DEL BUQUE POR LA ACCION DEL VIENTO .....	211
7.2.3.7. ESCORAS DEL BUQUE POR LA ACCION DE LA CORRIENTE .....	212
7.2.3.8. ESCORAS DEL BUQUE POR CAMBIOS DE RUMBO .....	214
7.2.3.9. RESGUARDO PARA SEGURIDAD Y CONTROL DE MANIOBRABILIDAD DEL BUQUE .....	216
7.2.3.10. MARGEN DE SEGURIDAD .....	216
7.2.3.11. COMPROBACIONES A REALIZAR REFERENTES A LOS FACTORES RELACIONADOS CON EL BUQUE .....	218
7.2.4. FACTORES RELACIONADOS CON EL NIVEL DE LAS AGUAS .....	218
7.2.4.1. MAREA ASTRONOMICA .....	218
7.2.4.2. MAREA METEOROLOGICA .....	221
7.2.4.3. RESONANCIAS POR FENOMENOS DE ONDAS LARGAS .....	225
7.2.4.4. REGIMENES FLUVIALES .....	225
7.2.4.5. ESCLUSAS Y DARSENAS ESCLUSADAS .....	226
7.2.4.6. NIVEL DE AGUA DE REFERENCIA .....	226
7.2.4.7. CRITERIOS DE OPTIMIZACION DEL NIVEL DE AGUA DE REFERENCIA Y DE LA PROFUNDIDAD DE AGUA REQUERIDA .....	228
7.2.5. FACTORES RELACIONADOS CON EL FONDO .....	231
7.2.5.1. MARGEN PARA IMPRECISIONES DE LA BATIMETRIA .....	231
7.2.5.2. DEPOSITO DE SEDIMENTOS ENTRE DOS CAMPAÑAS DE DRAGADO .....	231
7.2.5.3. TOLERANCIA DE EJECUCION DEL DRAGADO .....	231
7.2.6. PROCEDIMIENTOS EMPIRICOS .....	231
7.2.7. MANUALES DE OPERACION .....	232
<b>7.3. GALIBO SOBRE AREAS DE FLOTACION</b> .....	232

<b>7.4. NIVELES DE CORONACION DE MUELLES</b> .....	235
7.4.1. CRITERIOS DE EXPLOTACION .....	235
7.4.2. CRITERIOS DE NO REBASABILIDAD DE LAS AGUAS LIBRES EXTERIORES .....	236
7.4.3. CRITERIOS DE NO REBASABILIDAD DEL NIVEL FREATICO EN EL TRASDOS DEL MUELLE .....	236
7.4.4. CRITERIOS DE DRENAJE .....	236

7.01.	Factores que intervienen en la determinación de las profundidades de agua en las áreas de navegación y flotación .....	201
7.02.	Secciones transversales tipo de vías navegables para el cálculo del trimado dinámico .....	204
7.03.	Factor de corrección para el cálculo del trimado dinámico .....	206
7.04.	Movimientos del buque .....	208
7.05.	Esquema de fuerzas generadoras de escoras por acción del viento .....	211
7.06.	Esquema de fuerzas generadoras de escoras por acción de la corriente .....	213
7.07.	Esquema de fuerzas generadoras de escoras por cambio de rumbo .....	215
7.08.	Esquema tipo de la onda de marea (aplicable en aguas de España) .....	220
7.09.	Esquema de tiempos de operación con varias ondas de marea .....	222
7.10.	Gráfico adimensional para el cálculo de la anchura de una «ventana» en una onda de marea .....	223
7.11.	Probabilidad de disponer de un nivel de agua (hm) concreto (curva a determinar en cada caso) .....	224



7.1. Movimientos verticales del buque debidos a la acción del oleaje .....	209
7.2. Resguardos para seguridad y control de la maniobrabilidad del buque ( $r_{vm}$ ) y margen de seguridad ( $r_{sd}$ ) .....	217
7.3. Nivel de referencia de las aguas para determinar la profundidad .....	227
7.4. Requerimientos mínimos de servicio recomendados para determinar los niveles de agua de referencia .....	229
7.5. Nivel medio de las aguas en condiciones de operación para áreas de bu- ques en permanencia .....	233
7.6. Nivel máximo de las aguas exteriores para estudios de gálidos y dre- najes .....	234



## PARTE 7

---

### 7.1. ALCANCE DEL CAPITULO

**7.1.1.** La profundidad de agua y los gálidos aéreos necesarios en las diferentes Áreas de Navegación y Flotación podrán ser variables, estableciéndose cada uno de ellos teniendo en cuenta la vida útil de la instalación, las condiciones de operatividad admitidas para la misma, las características y distribución del tráfico de buques, los costos de construcción y mantenimiento y otros aspectos indicados en el capítulo 2. Es decir, el dimensionamiento en alzado no se realizará de forma determinística en función de un único parámetro, por ejemplo, calado de un buque, sino que deberá tener en cuenta todos los aspectos mencionados. La profundidad del agua y los gálidos aéreos que se adopten deberá permitir durante todo el tiempo y condiciones de operatividad que se establezcan para la instalación, la navegación, maniobras, permanencia y carga o descarga de los buques, en condiciones de seguridad, para todos los barcos que utilicen dichas Áreas de Navegación y Flotación.

El procedimiento para determinar las profundidades de agua y los gálidos aéreos sigue los criterios generales establecidos en el apartado 2.5, es decir:

- Calcular los espacios ocupados por los buques, que dependen por una parte del propio buque y de los factores que afectan a sus movimientos y por otra del nivel de las aguas y los factores que afectan a su variabilidad.
- Incrementar estos espacios en los Márgenes de Seguridad.
- Comparar estos requerimientos de espacio con los disponibles o exigibles en el emplazamiento.

**7.1.2.** Adicionalmente a estos dos casos y por razones de coherencia, se incluye en esta sección las Recomendaciones sobre el nivel de coronación de los muelles, en donde se establecen criterios específicos, ya que en este caso no se trata de espacios de agua o gálidos aéreos que haya que dejar exentos para la navegación o flotación de los buques. Se recogen por tanto en este capítulo los criterios para la determinación de las dimensiones siguientes:

- Profundidades de agua de las Áreas de Navegación y Flotación, considerando tanto los factores relativos al buque (calados estáticos, distribución de cargas, trimado dinámico, resguardos para movimientos del buque por vientos, oleajes, corrientes y cambios de rumbo, resguardos para maniobrabilidad y seguridad del barco, etc.) como los relacionados con el nivel de las aguas (marea astronómica, marea meteorológica, etc.) y los que dependen del fondo (imprecisiones de la batimetría, depósitos de sedimentos y tolerancias de ejecución del dragado).
- Gálidos de puentes y otras instalaciones que vuelen sobre las Áreas de Navegación (tendidos eléctricos, cables, etc.), determinados de manera que permitan la navegación o permanencia de los buques en condiciones de seguridad.
- Niveles de coronación de los muelles, tomando en consideración los condicionantes debidos al nivel de las aguas y los derivados de los requerimientos de operación de los buques y de la explotación del puerto.

### 7.2. DETERMINACION DE PROFUNDIDADES DE AGUA DE LAS AREAS DE NAVEGACION Y FLOTACION

#### 7.2.1. INTRODUCCION

La determinación de la profundidad de agua necesaria en las diferentes Áreas de Navegación y Flotación se realizará en cada caso tomando en consideración los factores siguientes:

- El calado de los buques y los factores relacionados con los barcos que puedan ocasionar que algún punto de su casco alcance una cota más baja que la correspondiente a quilla plana en condiciones estáticas en agua de mar ( $H_1$ ).
- El nivel del Agua que se considere y los factores que afectan a su variabilidad ( $H_2$ ), que determinarán el plano de referencia para emplazar el buque.
- Los márgenes de seguridad que se establezcan para prevenir un contacto del buque con el fondo. La valoración de estos márgenes de seguridad se incluye dentro del bloque de Factores  $H_1$ .

La consideración de los factores anteriores determinará la profundidad mínima de agua requerida en el emplazamiento o profundidad nominal, que para poder quedar garantizada como espacio disponible en el emplazamiento tal como se especifica en el apartado 2.5, exigirá tomar en consideración un conjunto de factores relacionados con el fondo ( $H_3$ ).

El primer bloque de factores ( $H_1$ ), ver fig. 7.01, integra todos aquéllos que dependen del buque, ya sea en condiciones estáticas o dinámicas, incluso aunque el movimiento esté originado por causas externas al propio buque (vientos, oleajes, corrientes, etc.); representa por tanto el nivel más bajo que puede alcanzar cualquier punto del buque, en relación con el nivel medio de las aguas en las que se encuentra. Por razones de coherencia se integra en este grupo el resguardo para seguridad y control de la maniobrabilidad del barco y los propios Márgenes de Seguridad del dimensionamiento, si bien se trata de espacios que en condiciones normales nunca serán alcanzados por el casco del buque. El segundo bloque de factores ( $H_2$ ), recoge el análisis de las mareas y otras variaciones del nivel medio de las aguas (mareas astronómicas y meteorológicas, variaciones de caudal de ríos, bombeo en dársenas esclusadas, etc.), es decir, factores que determinan el nivel medio de referencia de las aguas en las que se encuentra el buque y que no generan movimientos verticales diferenciales significativos entre diferentes puntos del casco del buque. El tercer bloque de factores ( $H_3$ ) recoge exclusivamente los que dependen del fondo, incluyendo imprecisiones de la batimetría, depósito de sedimentos y tolerancias de ejecución del dragado.

## **7.2.2. CRITERIOS GENERALES**

Los tres bloques citados en el apartado anterior no siempre necesitan ser objeto de análisis detallado. En particular el estudio de los factores relacionados con el nivel de las aguas se omite cuando la determinación de calados se efectúa a partir del nivel más bajo que puedan alcanzar las aguas (BMVE corregido por variaciones meteorológicas del nivel de las aguas en Areas sin corrientes fluviales, niveles mínimos de operación de dársenas esclusadas, etc.). Esta hipótesis equivale a suponer que los buques pueden operar en cualesquiera condiciones de nivel de aguas existentes, supuesto que es habitual en los casos en los que existen carreras de marea u otras variaciones del nivel de las aguas reducidas. Para los casos en los que la variación del nivel de las aguas sea importante se recomienda no omitir el estudio de este bloque de factores, ya que puede producir ahorros significativos en las necesidades de dragado, con solo pequeñas pérdidas de operatividad.

El bloque de factores relacionados con el buque normalmente debe analizarse en todos los casos. Hay que hacer notar que los valores que se obtengan dependen en gran medida de las condiciones límites de operación que se establezcan para las diferentes maniobras de los buques, recomendándose al respecto evitar valores muy elevados, especialmente del oleaje, que no sean realmente representativos del clima marítimo existente en la zona, ya que, admitiendo unos porcentajes reducidos de tiempo de inoperatividad del Area que se considere por circunstancias meteorológicas adversas, puede conseguirse un ahorro significativo de las necesidades de dragado.

Finalmente el tercer bloque de factores relacionados con el fondo normalmente sólo se considera cuando se trata de realizar proyectos de dragado pero no cuando se trata de evaluar la navegación de un buque por zonas de calados controlados, en los que habitualmente se parte de un nivel conocido del fondo en el que deben estar ya deducidos los factores relacionados con el fondo, tal como se esquematiza en la fig. 7.01.

## **7.2.3. FACTORES RELACIONADOS CON EL BUQUE**

### **7.2.3.1. CALADO ESTÁTICO DE LOS BUQUES**

El calado estático de los buques ( $D_e$ ) se determinará para flotación en agua de mar y corresponderá, para cada tipo de barcos (petroleros, graneleros, etc.), al de mayor calado

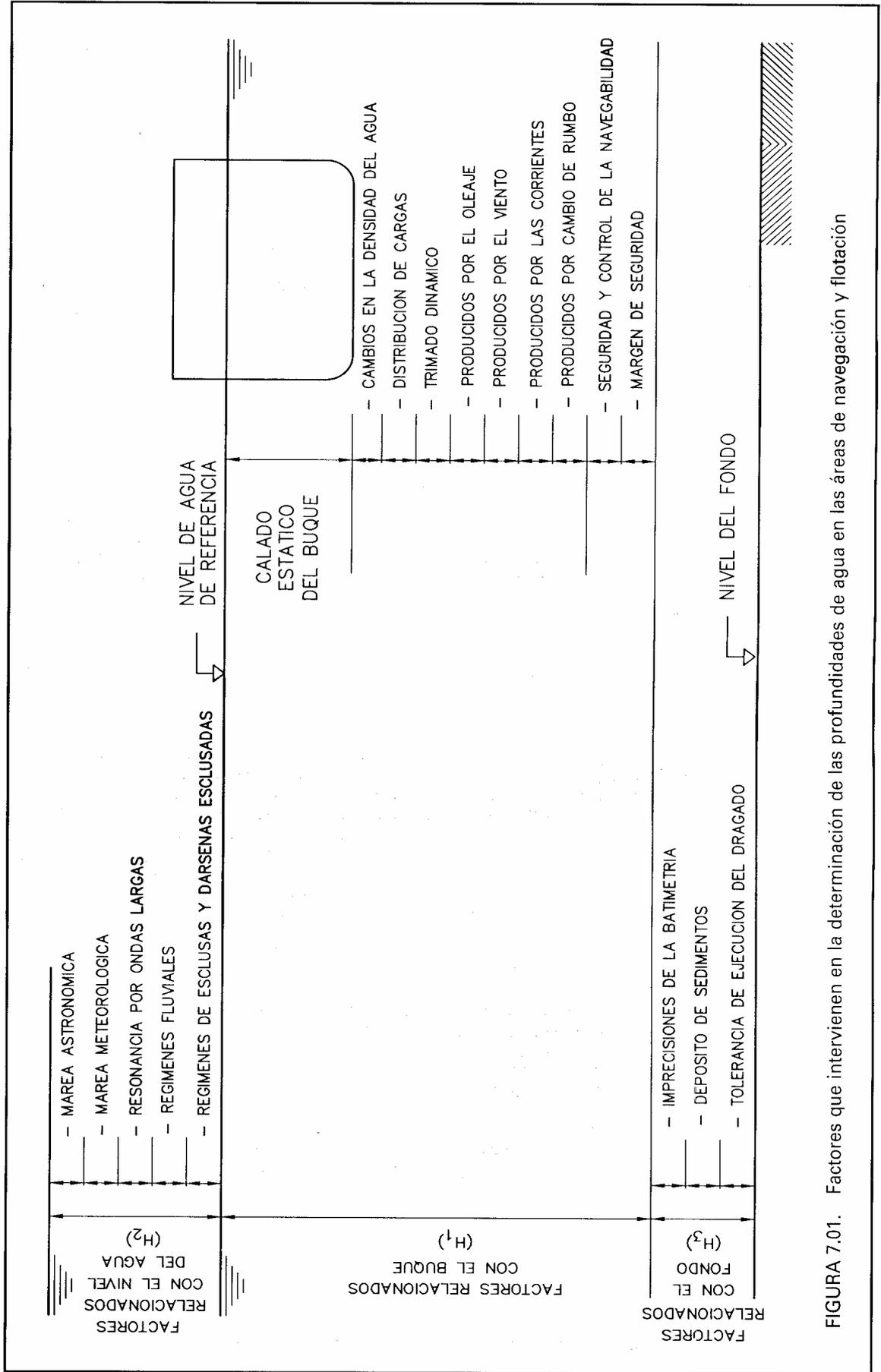


FIGURA 7.01. Factores que intervienen en la determinación de las profundidades de agua en las áreas de navegación y flotación

que pueda operar en la instalación según las condiciones previstas de explotación de la misma; en el supuesto de que el estudio se realice considerando la flota subdividida en tramos se considerará el más desfavorable de cada tramo. En ausencia de datos más concretos se considerará que para cada tipo de buques el de más calado corresponderá al de mayor desplazamiento. Dado que en el proceso de determinación de las profundidades de agua en las Áreas de Navegación y Flotación intervienen otros parámetros además del calado del buque, será necesario, en general, analizar los casos más desfavorables correspondientes a los diferentes tipos de buques que puedan operar en el Área, sin que sea válida la simplificación de analizar exclusivamente un solo buque correspondiente al de mayor calado de todos ellos.

En general el análisis se efectuará suponiendo que alguna vez los buques operarán a plena carga, salvo en el caso de astilleros o instalaciones de reparación de buques, en los que la condición de diseño corresponderá a buques en rosca o lastre según sus criterios de explotación. Para muelles y atraques, podrá considerarse excepcionalmente el supuesto de que los buques siempre operan en carga parcial, solamente en el caso de que las normas de explotación definan con precisión los criterios y procedimientos a seguir para garantizar la seguridad.

En el supuesto de que se contemplen operaciones de buques con calados mayores del de plena carga (buques escorados, con averías, etc.) será necesario evaluar previamente la posibilidad de utilizar las Áreas de Navegación y Flotación correspondientes, determinando las condiciones climatológicas (mareas, vientos, oleajes, etc.) y de seguridad y ayudas a la navegación (resguardos, remolcadores, etc.), que permitiesen efectuar las operaciones requeridas.

Las dimensiones y características de los diferentes tipos de buques de proyecto deberán ser suministradas al proyectista por las autoridades o propietarios de la instalación de acuerdo con la utilización prevista. Cuando las dimensiones de los buques no sean claramente conocidas, y a falta de información más precisa (p.e. Lloyd's Register), podrán utilizarse para el proyecto de Áreas de Navegación y Flotación las dimensiones medias de los buques a plena carga incluidas en la tabla 3.1, obteniéndose a partir de ellas sus valores característicos con los criterios que se establecen en el apartado 3.1, de esta ROM. Estas dimensiones características así determinadas podrán ser utilizadas tanto a efectos de estudios determinísticos como semiprobabilísticos, sin perjuicio de análisis estadísticos de mayor detalle que pudieran efectuarse en cada caso, si la incertidumbre sobre la flota así lo aconsejase.

Cuando los buques estén en condiciones de carga parcial deberá recurrirse a curvas o tablas específicas para obtener el calado y el desplazamiento en esas condiciones, si bien podrán aproximarse por fórmulas empíricas de validez reconocida. En el caso de buques de formas muy llenas (petroleros, mineraleros, etc.) puede suponerse que, en cualquier condición de carga, se mantiene constante el coeficiente de bloque [desplazamiento/(eslora entre perpendiculares x manga x calado ( $\gamma_w$ ))]. Para otros tipos de buques se supondrá que el coeficiente de bloque del buque se mantiene constante para cualquier condición de carga comprendida entre el 60% y el 100% y puede tener decrementos de hasta el 10% del valor anterior para condiciones de carga inferiores al 60% de la plena carga.

#### **7.2.3.2. CAMBIOS EN LA DENSIDAD DEL AGUA**

Se incluye en este concepto el cambio en el calado del buque ( $d_s$ ) producido por variaciones en la densidad del agua en la que navega (salinidad, temperatura, sólidos en suspensión, etc.). Dado que los calados de los buques se determinan habitualmente para la condición más desfavorable con densidades del agua del mar, la corrección sólo debe aplicarse cuando el barco pasa de navegación en agua salada a navegación en agua dulce, ocasionándose incrementos del calado estático del buque del 3%, cifra determinada suponiendo un peso específico del agua del mar de 1,03 t/m<sup>3</sup> frente a 1,00 t/m<sup>3</sup> del agua dulce (para condiciones intermedias puede interpolarse linealmente). Estos valores pueden considerarse como característicos tanto a efecto de estudios determinísticos como semiprobabilísticos.

#### **7.2.3.3. SOBRECALADO POR DISTRIBUCION DE CARGAS**

Se incluyen en este concepto los incrementos de calado ( $d_g$ ) que se producen en el buque en relación con su situación de quilla a nivel, debidos a trimados, escoras o deformaciones ocasionadas por diferentes condiciones de la carga. No se incluye en este concepto los sobrecalados debidos a escoras por carga irregular o desplazamientos de cargas, que se analizarán conforme se indicó en el párrafo tercero del apartado 7.2.3.1.

Estos sobrecalados alcanzan su mayor valor a proa o popa del buque en donde pueden cuantificarse para mercantes a plena carga en un máximo de  $0,0025 L_{pp}$  (eslora entre perpendiculares); para grandes petroleros o graneleros pueden reducirse a  $0,0015 L_{pp}$  y para otro tipo de buques pueden cifrarse en  $0,0020 L_{pp}$ . Estos valores también pueden considerarse como característicos tanto a efectos de estudios determinísticos como semiprobabilísticos, dada la pequeña cuantía de los mismos.

El trimado en carga parcial puede alcanzar valores hasta 10 veces superiores a los anteriores, sin que en ningún caso llegue a ocasionarse un calado superior al de plena carga con su sobrecalado correspondiente. En caso de considerarse condiciones de carga parcial se incorporarán a los criterios de explotación los sobrecalados máximos admisibles por distribución de cargas.

#### 7.2.3.4. TRIMADO DINAMICO O «SQUAT»

**7.2.3.4.1.** Se entiende por trimado dinámico o «squat» el incremento adicional de calado de un buque ( $d_t$ ) en relación con el nivel estático del agua, producido por el movimiento del barco a una velocidad determinada.

La navegación de un buque en aguas tranquilas ocasiona una velocidad relativa entre el barco y el agua. Esta diferencia de velocidades altera la distribución de presiones hidrodinámicas alrededor del buque generando los efectos siguientes:

- Un descenso del nivel del agua, que es variable a lo largo de la eslora del buque.
- Una fuerza vertical descendente actuando sobre el casco del buque y un momento con relación al eje horizontal transversal, que ocasionan un desplazamiento del buque en su plano longitudinal de simetría, que se compone por tanto de dos movimientos:
  - Una traslación vertical descendente uniforme.
  - Un giro sobre e eje horizontal transversal.

El trimado dinámico es la combinación de ambos efectos (descenso del nivel del agua y los dos movimientos) que producen variaciones del calado del buque de distinto valor a lo largo de su eslora. Habitualmente se denomina trimado dinámico al valor máximo del sobrecalado, que puede producirse en la proa o en la popa del barco según el tipo de embarcación, presentándose generalmente en la proa para la mayoría de los barcos comerciales.

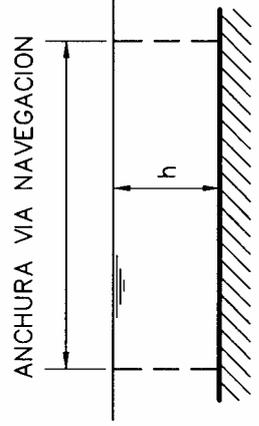
**7.2.3.4.2.** Dado que el trimado dinámico es función de la velocidad relativa del agua con respecto al buque, su valor depende principalmente de las dimensiones geométricas de la zona en que navega el barco. Las fórmulas que permiten calcular e valor del squat están determinadas generalmente para navegación en aguas poco profundas sin restricciones laterales, de las que se han deducido generalizaciones aplicables para navegación en canales sumergidos y en canales convencionales (ver fig. 7.02), que cubren la totalidad de los supuestos de interés para las Areas de Flotación que se analizan en esta Recomendación. La navegación en aguas canalizadas resulta afectada fundamentalmente por la velocidad de retorno del agua, dependiendo así de la relación entre la sección transversal principal de la obra viva del buque ( $A_b$ ) y la sección transversal del canal ( $A_c$ ); para canales sumergidos se considera como sección transversal del canal ( $A_c$ ) la superficie equivalente configurada por la prolongación de los taludes de los cajeros hasta la superficie del agua.

La determinación del trimado dinámico puede calcularse mediante la fórmula de HUUSKA/GULIEV/ICORELS, que tiene la expresión siguiente:

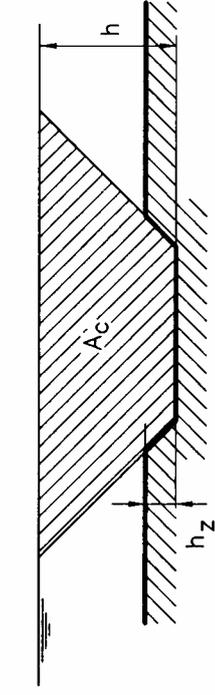
$$d_t = 2,4 \cdot \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \cdot \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \cdot K_s$$

En donde:

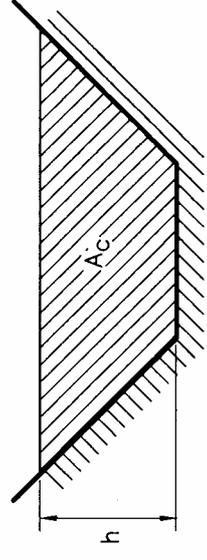
- $d_t$  : Valor máximo del trimado dinámico (m)
- $\nabla$  : Volumen del desplazamiento del buque (m<sup>3</sup>)
- $L_{pp}$  : Eslora entre perpendiculares del buque (m)



AGUAS POCO PROFUNDAS  
SIN RESTRICCIONES LATERALES



CANAL SUMERGIDO



CANAL CONVENCIONAL

FIGURA 7.02. Secciones transversales tipo de vías navegables para el cálculo del trimado dinámico

$$F_{nh} : \text{Número de Froude} = \frac{V_1}{\sqrt{gh}} \text{ (adimensional)}$$

La resistencia hidrodinámica al movimiento de un buque depende de este Número de Froude. Cuando  $F_{nh}$  se aproxima a 1.00 la resistencia al desplazamiento alcanza valores muy elevados, que la mayoría de los buques no pueden superar con la potencia instalada; de hecho todos los buques, salvo casos especiales de embarcaciones rápidas, navegan a velocidades que no ocasionan valores de  $F_{nh}$  en exceso de 0,60/0,70 (petroleros y portacontenedores respectivamente), cifras que resultan ser barreras efectivas de la velocidad del buque. En consecuencia y simultáneamente con el estudio de los requerimientos de calado, deberá comprobarse que los números de Froude resultantes, son compatibles con las condiciones del caso.

$V_r$  = Velocidad relativa del buque con respecto al agua, excluidos efectos locales (m/s)

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$h$  = Profundidad del agua en reposo, excluidos efectos locales (m)

$K_s$  = Coeficiente adimensional de corrección para canales sumergidos o convencionales (ver fig. 7.2.), (para zonas sin restricciones laterales se tomará  $K_s= 1.00$ ). Para su determinación se emplearán las expresiones siguientes:

$$K_s = 7,45 \cdot s_1 + 0,76 \quad \text{para } s_1 > 0,032$$

$$K_s = 1,00 \quad \text{para } s_1 \leq 0,032$$

$$S_1 = \frac{A_b}{A_c} = \frac{1}{K_1}$$

$A_b$  = Área de la sección transversal principal de la obra viva del buque ( $m^2$ )  $\approx 0,98 \cdot B \cdot D$  para buques comerciales

$B$  = Manga del buque (m)

$D$  = Calado del buque (m)

$A_c$  = Área de la sección transversal del canal situada por debajo del nivel de agua en reposo ( $m^2$ ). Para canales sumergidos se considerará la superficie equivalente configurada por la prolongación de los taludes de los cajeros hasta la superficie de agua.

$K_1$  = Factor de corrección, función de  $\frac{A_b}{A_c}$  y de  $\frac{h_z}{h}$  Ver fig. 7.03

$h_z$  = Profundidad de la zanja dragada referida al nivel medio del fondo (m). Ver fig. 7.02

**7.2.3.4.3.** Para la determinación de la velocidad  $V_r$  del buque con respecto al agua que interviene en la formulación anterior, se deberá considerar, además de la limitación ya expuesta al analizar el número de Froude, las restricciones que provengan de las normas de operación del Área de Flotación o Navegación que se considere. Para la determinación de calados en fase de proyecto se considerarán los valores máximos de la velocidad que fijen las citadas normas de operación, o que se establezcan precisamente a consecuencia del proyecto que se realice; en el supuesto de que estas normas consideren velocidades diferentes según tipos y dimensiones de los buques será necesario analizar los supuestos más desfavorables. A falta de criterios específicos al respecto se recomienda adoptar valores máximos de la velocidad absoluta de los buques «V» dentro de los márgenes siguientes, sin que en ningún caso resulten números de Froude mayores de 0.70:

	Velocidad absoluta del buque «V»	
	m/s	$\approx$ nudos
— Áreas exteriores		
• Navegación por vías de aproximación		
Largas ( $\geq 50 L_{pp}$ )	4-7,5	8-15
Cortas ( $< 50 L_{pp}$ )	4-6	8-12
• Navegación de acceso a fondeaderos	1-1,5	2-3
• Navegación por canales de acceso	3-5	6-10

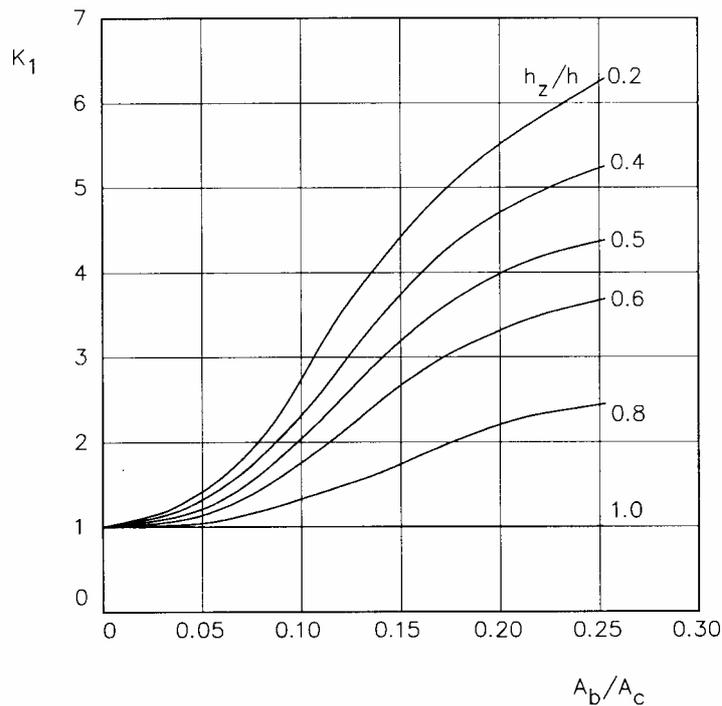


FIGURA 7.0. Factor de corrección para el cálculo del trimado dinámico

	Velocidad absoluta del buque «V»	
	m/s	≈ nudos
• Navegación de acceso a Areas de maniobra	2-3	4-6
• Navegación de acceso a Areas de atraque (pantalanes)	1-1,5	2-3
— Cruce de bocanas de puertos	2-4	4-8
— Areas interiores		
• Navegación de acceso a fondeaderos	1-1,5	2-3
• Navegación por canales	3-5	6-10
• Navegación de acceso a Areas de maniobras	2-3	4-6
• Navegación de acceso a dársenas, muelles y atraques	1-1,5	2-3

Todas estas velocidades recomendadas corresponden a la navegación que se define en cada uno de los epígrafes, por lo que será necesario considerar todos los supuestos que puedan presentarse en cada caso para hacer un estudio correcto (p.e. la navegación de buques por un canal puede corresponder no sólo a embarcaciones en tránsito hacia áreas interiores, sino también hacia atraques que estén emplazados en el mismo canal).

Se hace notar que estas velocidades recomendadas son absolutas «V», mientras que la velocidad «V» que interviene en la formulación es la velocidad relativa del buque con respecto al agua, por lo que será necesario tomar en consideración la velocidad del agua en el supuesto de que existan corrientes fluviales, de marea, etc.

Para la navegación que se efectúe en la fase final de las maniobras de aproximación y atraque, o a comienzo de las de salida, en las que la velocidad es inferior a 1 m/s y suele efectuarse con ayudas de remolcadores, puede considerarse que el efecto del squat es despreciable.

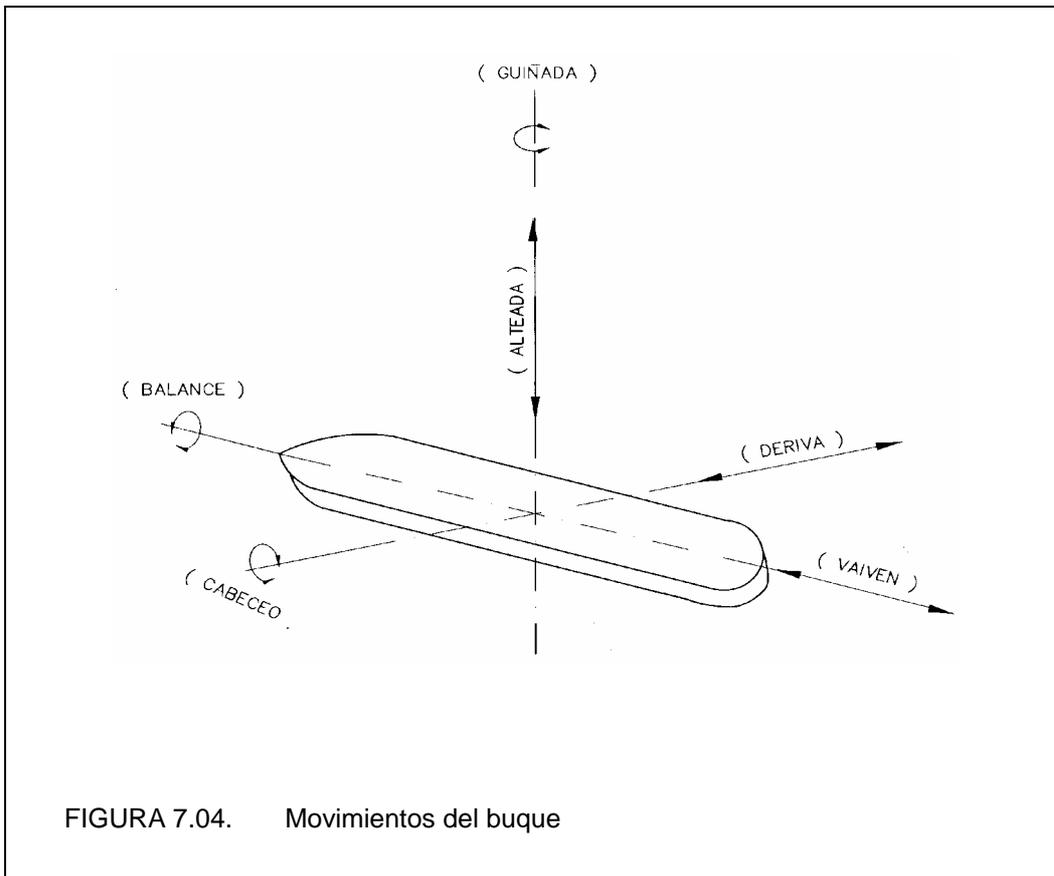
**7.2.3.4.4.** La fórmula de cálculo del trimado dinámico recogida anteriormente no toma en consideración todas las circunstancias que pueden presentarse, al no disponerse actualmente de estudios globales que cubran todos los aspectos, por lo que se recomienda su utilización tanto para estudios determinísticos como semiprobabilísticos. Las circunstancias más habituales que suelen presentarse y que no están cubiertas por la formulación, son las siguientes:

- *Adelantamiento y cruce de buques.* El flujo de agua alrededor del buque resulta afectado modificándose el trimado dinámico, cuyo valor puede incrementarse hasta el 50-100%. Si el adelantamiento o cruce de buques es ocasional se recurre normalmente a reducir la velocidad de los buques para no aumentar los requerimientos de calado. Si estas maniobras fueren habituales deberá considerarse un incremento del trimado dinámico.
- *Navegación descentrada.* El movimiento de un buque fuera del eje de un canal y la proximidad a un talud modifica el régimen hidráulico del agua alrededor del barco aumentando el trimado dinámico. El efecto es despreciable si la distancia de los taludes es mayor de 2 ó 3 mangas del buque (dependiendo del Número de Froude: a mayor Número de Froude se requiere mayor separación). Análogamente al caso anterior, si el descentramiento es ocasional se recurre normalmente a reducir la velocidad del buque, precisándose efectuar estudios de mayor detalle si las maniobras son habituales.
- *Configuración geométrica del fondo.* El procedimiento de cálculo descrito anteriormente presupone que la profundidad de agua disponible y la velocidad del barco permanecen constantes. Si la profundidad de agua disminuye progresivamente, como sucede habitualmente al acercarse a puerto, aumenta la resistencia del agua, disminuye la velocidad del buque y se reduce el fenómeno de trimado dinámico. Sin embargo, si se produce una disminución rápida de la profundidad de agua y el buque entra navegando a velocidades elevadas en esta zona, el trimado dinámico aumenta significativamente produciéndose vibraciones violentas. En estos casos se recomienda reducir la velocidad del buque de manera que el número de Froude no supere el valor de 0,50.
- *Fondos fangosos.* La presencia de una capa de fangos fluidificados en el fondo produce en general disminuciones del trimado dinámico debido a variaciones en el régimen hidráulico del flujo alrededor del barco y a la variación de las condiciones de flotabilidad. Excepcionalmente pueden presentarse mayores valores del trimado dinámico en caso de que el barco se desplace a través de fangos muy poco densos y en el supuesto de que la velocidad de navegación supere los 4 m/s ( $\approx$  8 nudos).
- *Navegación en curva o con ángulo de deriva.* En la actualidad no se conocen investigaciones que permitan cuantificar la transcendencia de estos supuestos. A efectos prácticos se mantendrá el cálculo para navegación en tramos rectos sin ángulo de deriva, recurriéndose a disminuir la velocidad del buque en el supuesto de que el trimado dinámico fuese más desfavorable.

### **7.2.3.5. MOVIMIENTOS DEL BUQUE PRODUCIDOS POR EL OLEAJE**

**7.2.3.5.1.** Los efectos del oleaje sobre el buque se analizaron con carácter general en el apartado 4.3; en este apartado se estudian específicamente los movimientos verticales de un buque — alteada, cabeceo y balance (ver fig. 7.04)— producidos por la acción del oleaje, que pueden ocasionar un incremento ( $d_w$ ) considerable en los requerimientos de calado del barco. La magnitud de estos movimientos verticales depende de los parámetros del oleaje (altura, período y dirección), de las características del barco (tipo de barco, calado, condiciones de carga y velocidad de navegación) y de la profundidad de agua existente en el emplazamiento. Los mayores movimientos se producen cuando el período del oleaje coincide con el periodo natural de oscilación del buque, circunstancia en la que se producen fenómenos de resonancia. Dado que los períodos naturales para los movimientos de alteada, cabeceo y balance, suelen ser superiores a 8 segundos para los buques de mayores desplazamientos, son las olas largas de mar de fondo las que tienen una mayor incidencia en el movimiento de este tipo de buques. Para pequeñas embarcaciones los períodos críticos del oleaje son menores, pudiendo cifrarse en 2-3 s para embarcaciones de hasta 6 m de eslora, 3-5 s para 12 m de eslora y 5-7 s para 20 m de eslora.

El procedimiento genérico de abordar el estudio de los movimientos del buque inducidos por el oleaje es determinar el operador de amplitud de respuesta o función de transferencia, que determina la relación entre el movimiento del buque y la altura de ola incidente para cada frecuencia y dirección del oleaje. La frecuencia a utilizar es la frecuencia



relativa del oleaje en relación con la velocidad del barco y la dirección de las olas. Este sistema de análisis es complejo y no admite una generalización simplificada de sus conclusiones, especialmente cuando se induce el fenómeno de resonancia. No obstante y teniendo en consideración que estas condiciones normalmente estarán excluidas de los procedimientos habituales de operación para la navegación y permanencia de buques en condiciones de seguridad, debido a los grandes ángulos de cabeceo y balance que pueden ocasionarse, es posible establecer los criterios simplificados que se recogen en la Tabla 7.1. (no aplicables a embarcaciones con  $L_{dp} < 60$  m.) para evaluar los incrementos de calado necesarios para hacer frente a los movimientos debidos al oleaje. Esta tabla toma en consideración los factores siguientes:

- El método de estudio, ya sea determinístico o semiprobabilístico, estableciendo los valores máximos esperables del movimiento vertical del buque, aplicables en uno y otro caso.
- El desplazamiento de los buques en función del porcentaje de carga.
- La velocidad del buque, llegando a considerar el caso de buques parados. Para buques amarrados o fondeados las restricciones impuestas por amarras y anclas tenderán en general a reducir los movimientos, por lo que los valores que se obtengan en estos casos estarán normalmente del lado de la seguridad.
- La relación entre la profundidad de agua disponible en el emplazamiento (en condición de reposo) y el calado del buque.
- La dirección de actuación del oleaje en relación con el buque.
- Las características del oleaje. El procedimiento recomendado supone en primera aproximación que el espectro de los movimientos verticales del buque es proporcional al espectro del oleaje.

**7.2.3.5.2.** Para el caso de embarcaciones con  $L_{dp} < 60$  m no puede establecerse una correlación tan simple como la recogida en la Tabla anterior, pudiendo formularse los criterios siguientes. Ver fig. 7.04.

**TABLA 7.1. MOVIMIENTOS VERTICALES DEL BUQUE DEBIDOS A LA ACCION DEL OLEAJE**

	Altura de la ola (m)							
	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
Eslora del buque ( $L_{pp}$ en m)	Desplazamiento vertical (m)							
75	0,10	0,17	0,34	0,58	0,76	1,02	1,30	1,58
100	0,05	0,14	0,28	0,46	0,65	0,87	1,12	1,36
150	0,00	0,09	0,20	0,34	0,51	0,69	0,87	1,08
200	0,00	0,05	0,15	0,26	0,40	0,57	0,72	0,92
250	0,00	0,03	0,10	0,21	0,33	0,48	0,63	0,80
300	0,00	0,00	0,07	0,16	0,25	0,39	0,56	0,68
400	0,00	0,00	0,04	0,11	0,18	0,31	0,51	0,58

**Notas**

1. La altura de ola a la que se refiere este cuadro es la altura significativa  $H_s$  del estado del mar. El movimiento vertical del buque que se obtiene es también el «significante». El movimiento vertical máximo podrá determinarse suponiendo que el factor de correlación con la altura de ola es constante y que, por tanto, el espectro de movimientos del buque es proporcional al espectro del oleaje. En este supuesto y para estudios determinísticos, se considerará que el movimiento vertical máximo del buque es el resultante de mayorar los valores de la Tabla por los factores siguientes:

- Buque desplazándose:  $2,00 - E_{max}$
- Buque fondeado o amarrado:  $2,35 - E_{max}$

siendo  $E_{max}$  el Riesgo máximo admisible definido en la Tabla 2.2. según las características del área y maniobra que se analiza.

En el caso de que se efectúen estudios semiprobabilísticos se supondrá que, en el desarrollo de una maniobra independiente, el mayor valor del movimiento vertical del buque con una probabilidad de ser excedido igual a  $\mu$ , puede obtenerse mediante la integración de la función de densidad que representa la probabilidad de presentación de los movimientos verticales máximos asociados a un conjunto de « $N_w$ » Olas; en consecuencia, y efectuada esta integración, se considerará que el movimiento vertical máximo del buque es el resultante de mayorar los valores de la Tabla por el factor siguiente:

$$f(\mu \cdot N_w) = 0,707 \left[ L_n \frac{N_w}{1} \right]^{1/2} \frac{1}{1 - \mu}$$

siendo « $L_n$ » el logaritmo neperiano del término a que acompaña. Para « $N_w$ » se tomará el número de olas esperable en función del tiempo que permanezca el buque en la zona objeto de estudio, con un valor máximo de 10.000.

2. Los valores de la Tabla están determinados para buques cargados (desplazamientos  $\geq 90\%$  del máximo), parados o con velocidades reducidas (número de Froude  $F_{nh} \leq 0,05$ ), situados en zonas con profundidad de agua  $\geq 1,50$  x calado del buque y con oleajes actuando longitudinalmente con el eje del buque ( $\pm 15\%$ ).
3. Para buques en carga parcial los coeficientes de la Tabla se multiplicarán por los factores siguientes:
- Desplazamiento  $\geq 90\%$  del máximo: 1,00
  - Desplazamiento = 70% del máximo: 1,10
  - Desplazamiento  $\leq 50\%$  del máximo: 1,20
  - Desplazamiento entre el 90% y el 70%: interpolación lineal entre 1,00 y 1,10
  - Desplazamiento entre el 70% y el 50%: interpolación lineal entre 1,10 y 1,20

**TABLA 7.1. (Continuación)**

4. La corrección en función de la velocidad se determinará multiplicando los valores de la Tabla por los factores siguientes:
- Número de Froude  $\leq 0,05$ : 1,00
  - Número de Froude = 0,15: 1,25
  - Número de Froude  $\geq 0,25$ : 1,35 (\*)
  - Número de Froude entre 0,05 y 0,15: Interpolación lineal entre 1,00 y 1,25
  - Número de Froude entre 0,15 y 0,25: Interpolación lineal entre 1,25 y 1,35
- (\*) El factor 1,35 puede llegar a ser menor de 1,00 para olas de periodo reducido actuando sobre buques de gran eslora. En estos casos podrían utilizarse valores menores basados en estudios específicos de detalle.
5. La influencia de la profundidad se calculará multiplicando los valores de la Tabla por los factores siguientes:
- Relación calado de agua/calado del buque  $\geq 1,50$ : 1,00
  - Relación calado de agua/calado del buque  $\leq 1,05$ : 1,10
  - Relación de calados entre 1,50 y 1,05: Interpolación lineal entre 1,00 y 1,10
6. La influencia de la dirección de actuación del oleaje se determinará multiplicando los valores de la Tabla por los factores siguientes:
- Angulo entre el eje longitudinal del buque y la dirección del oleaje  $\leq 15^\circ$ : 1,00
  - Angulo entre el eje longitudinal del buque y la dirección del oleaje =  $35^\circ$ : 1,40
  - Angulo entre el eje longitudinal del buque y la dirección del oleaje =  $90^\circ$ : 1,70
  - Angulos comprendidos entre  $15^\circ$  y  $35^\circ$ : Interpolación lineal entre 1,00 y 1,40
  - Angulos comprendidos entre  $35^\circ$  y  $90^\circ$ : Interpolación lineal entre 1,40 y 1,70
7. Para valores intermedios de la eslora del buque se interpolará linealmente entre intervalos. Para buque de pequeña eslora ver criterios específicos en el texto de la Recomendación.
8. En el supuesto de que intervengan varios factores de corrección se utilizará como multiplicador de los valores de la Tabla el producto de los diferentes factores individuales determinados según los criterios precedentes.

- La alteada de las pequeñas embarcaciones sigue los movimientos verticales del oleaje si la longitud de ola es mayor de 2,5 veces la secante del plano de flotación del buque medida según la dirección del oleaje ( $L_{pb}$  para oleaje longitudinal o manga ( $B$ ) para oleaje transversal a  $90^\circ$ ). Para longitudes de ola menores de 0,5 veces la dimensión anterior, la alteada tiende al valor cero.
- El balance del buque para oleajes transversales a  $90^\circ$  está principalmente relacionado con el período de las olas. En el supuesto de resonancia del período del oleaje con el de la embarcación el ángulo máximo de balance puede alcanzar un valor de 3 veces la pendiente de la superficie del agua.
- El cabeceo del buque no presenta resonancias significativas con el oleaje longitudinal, por lo que el ángulo de cabeceo del buque sigue aproximadamente la pendiente del agua en sus proximidades.
- A falta de estudios específicos podrá suponerse que el movimiento vertical de las pequeñas embarcaciones debido a la acción del oleaje es del 50% de la altura de ola, determinado en los mismos supuestos definidos en la Nota 2 de la Tabla 7.1. Para tomar en cuenta otros efectos se aplicarán los factores recogidos en las Notas de la citada Tabla.

Para la determinación de los movimientos del buque debidas a la acción del oleaje, se considerará en todos los casos como altura de ola significativa el valor máximo compatible con la maniobra de navegación del buque que se analice, en conformidad con los lí-

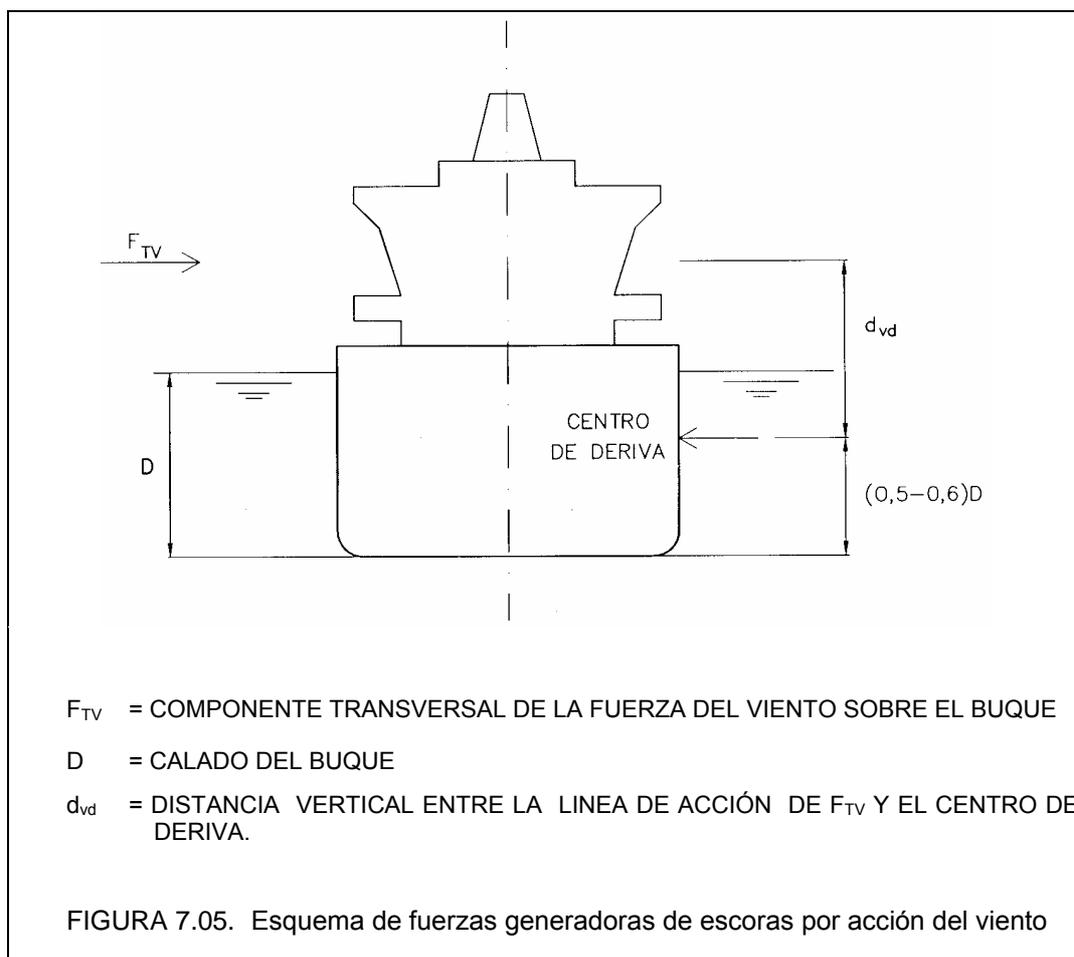
mites de operación establecidos para el diseño. Ver Tabla 8.1. Se hace notar que para el caso de muelles, fondeaderos, amarres y otras zonas donde se puedan efectuar operaciones de carga y descarga, la condición determinante para determinar el calado será la de permanencia del buque en la zona considerada y no la que limite las operaciones de carga y descarga, que será siempre igual o inferior a la de permanencia.

### 7.2.3.6. ESCORAS DEL BUQUE POR LA ACCIÓN DEL VIENTO

La actuación del viento sobre el buque produce movimientos de escora que dan lugar a sobrecalados ( $d_v$ ) cuya cuantía depende de las características dinámicas del buque y de la acción del viento que se considere. Este efecto es prácticamente despreciable para la actuación de vientos longitudinales, teniendo una mayor incidencia en el caso de vientos transversales, si bien su repercusión en los calados también es mínima salvo en el caso de embarcaciones de casco plano o de algunas embarcaciones menores de navegación a vela. La cuantificación aproximada de su efecto para buques en navegación puede realizarse suponiendo que la resultante de los vientos que actúan transversalmente sobre el buque está desplazada en relación al centro de deriva del mismo en donde se sitúa la resultante de las cargas de deriva, ver fig. 7.05, lo que ocasiona un giro alrededor del eje longitudinal del buque (balance) hasta alcanzar un valor en el que el par adrizante estabilizador equilibra el momento de las cargas exteriores del viento. Para buques amarrados el efecto es similar si bien las cargas exteriores producidas por el viento estarán equilibradas por los tiros de las amarras o las reacciones de las defensas, con lo cual habrá que considerar un brazo del par diferente.

La cuantificación de este giro podrá realizarse mediante la fórmula siguiente:

$$\operatorname{tg} \theta_{TV} = \frac{F_{TV} \cdot d_{vd}}{\gamma_w \cdot (I - \nabla d_{bg})}$$



Siendo:

- $\theta_{TV}$  = Ángulo de balance del buque ocasionado por la acción del viento transversal.
- $F_{TV}$  = Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante de la acción del viento sobre él
- $d_{vd}$  = Distancia vertical entre la línea de acción de  $F_{TV}$  para el caso de buques en navegación, y el centro de deriva; el centro de deriva puede suponerse situado a una distancia de 0,5 a 0,6 veces el calado del buque medida desde el nivel inferior de la quilla. Para buques amarrados se determinará entre la línea de acción  $F_{TV}$  y la de las fuerzas de amarres o defensas que equilibren a  $F_{TV}$  medida en el plano de crujía.
- $\gamma_w$  = Peso específico del agua
- $I$  = Momento de inercia de la superficie de isocarena referido a su eje longitudinal. Esta superficie de isocarena podrá asimilarse a una elipse cuyo eje mayor sea la eslora entre perpendiculares ( $L_{pp}$ ) y su eje menor la manga del buque ( $B$ ), con lo cual el Momento de Inercia tendría el valor:

$$I = \frac{\pi \cdot L_{pp} \cdot B^3}{64}$$

- $\nabla$  = Desplazamiento del buque, expresado en unidad de volumen.
- $d_{bg}$  = Distancia vertical entre el centro de gravedad de pesos y el centro de empuje (centro de gravedad del volumen sumergido) del buque que se analice
- Esta distancia « $d_{bg}$ » es un valor incierto, ya que la posición del centro de gravedad de pesos puede variar mucho con el tipo de buque, el tipo de carga y la condición de carga (plena, media, lastre, etc.). No obstante lo anterior, si pudiera conocerse la situación de dicho centro de gravedad, podría utilizarse la siguiente fórmula:

$$d_{bg} = KG - D \left( 0,84 - \frac{0,33 \cdot C_b}{0,18 + 0,87 C_b} \right)$$

en donde:

- $KG$  = Altura del centro de gravedad de pesos sobre la quilla
- $D$  = Calado medio del buque en las condiciones de carga que se consideren
- $C_b$  = Coeficiente de bloque al calado  $D$  anterior

El sobrecalado debido a este balance se determinará para buques de casco plano mediante la expresión:

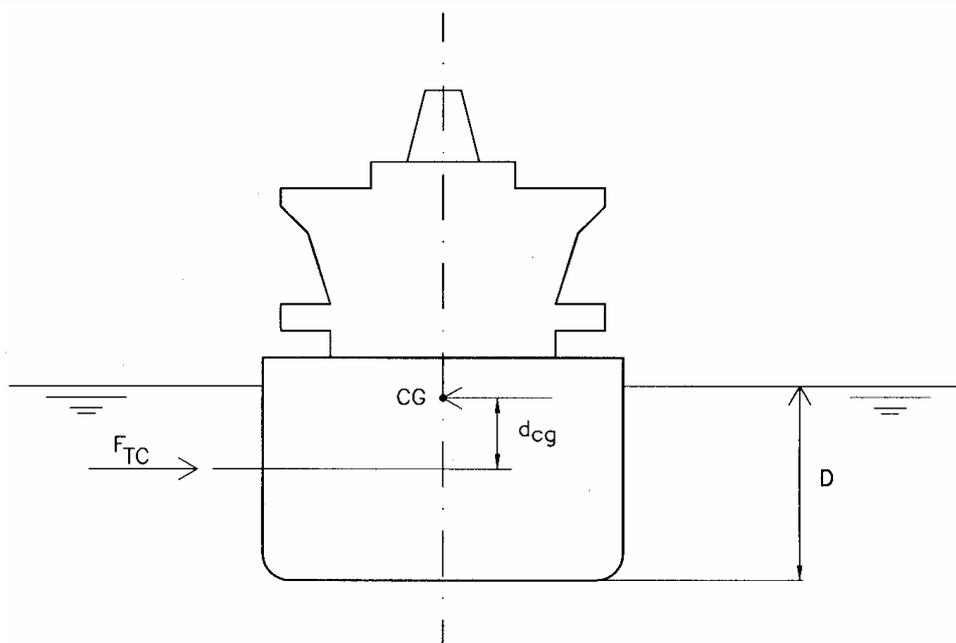
$$d_v = \frac{B \operatorname{sen} \theta_{TV}}{2}$$

pudiendo adoptarse este valor como característico tanto en estudios determinísticos como semiprobabilísticos, dada la pequeña cuantía del mismo.

El valor de  $F_{TV}$  se evaluará con los criterios establecidos en el Capítulo IV, aplicándolos a las velocidades del viento relativo que se correspondan con las que se establezcan como límites de operación en el caso que se considere.

### 7.2.3.7. ESCORAS DE BUQUES POR LA ACCION DE LA CORRIENTE

El movimiento de un buque en navegación sometido a la acción de la corriente, una vez alcanzado el régimen de equilibrio permanente, no produce escoras ni sobrecalados adicionales, ya que la línea de acción de la resultante de las cargas de la corriente sobre el buque coincide con la de las cargas de deriva, no existiendo ningún par desequilibrado generador de ángulos de balance; sin embargo cuando se altera la situación de equilibrio permanente debido a la presencia de corrientes de actuación variable, lo que sucede frecuentemente en el caso de corrientes transversales por cambios en la alineación de la vía navegable o por interposición de obstáculos físicos, puede presentarse un par desequilibrado ocasionado porque el equilibrio de las fuerzas de la corriente sobre el buque no se produce con las fuerzas de deriva aplicadas en el centro de deriva, sino con las fuerzas de inercia aplicadas en el centro de gravedad, ver fig. 7.06. Este efecto, que es práctica-



$F_{TC}$  = COMPONENTE TRANSVERSAL DE LA FUERZA DE LA CORRIENTE SOBRE EL BUQUE.

$D$  = CALADO DEL BUQUE

$d_{cg}$  = DISTANCIA VERTICAL ENTRE LA LINEA DE ACCIÓN DE  $F_{TC}$  Y EL CENTRO DE GRAVEDAD DEL BARCO.

NOTA: ESTE EFECTO SOLO SE PRODUCE CUANDO SE ALTERA LA SITUACION DE EQUILIBRIO PERMANENTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE CORRIENTES DE ACTUACIÓN VARIABLE.

FIGURA 7.06. Esquema de fuerzas generadoras de escoras por acción de la corriente

mente despreciable para corrientes actuando longitudinalmente y que tiene una incidencia mínima en el caso de corrientes transversales, puede calcularse determinando el giro de balance del buque necesario para que el par adrizante equilibre el momento de las cargas exteriores de la corriente. La cuantificación de este giro para buques en navegación puede realizarse mediante la fórmula siguiente:

$$t_g \theta_{TC} = \frac{F_{TC} \cdot d_{cg}}{\gamma_w \cdot (I - \nabla d_{bg})}$$

Siendo:

$\theta_{TC}$  = Ángulo de balance del buque ocasionando por la acción de la corriente transversal.

$F_{TC}$  = Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante de la acción de la corriente sobre él

$d_{cg}$  = Distancia vertical entre la línea de acción de  $F_{TC}$  y el centro de gravedad del barco.

$\gamma_w$  = Pero específico del agua

$I$  = Momento de inercia de la superficie de isocarena referido a su eje longitudinal. Esta superficie de isocarena podrá asimilarse a una elipse cuyo eje mayor sea la eslora

entre perpendiculares ( $L_{pp}$ ) y su eje menor la manga del buque ( $B$ ), con lo cual el Momento de Inercia tendría el siguiente valor:

$$I = \frac{\pi \cdot L_{pp} \cdot B^3}{64}$$

$\nabla$  = Desplazamiento del buque expresado en unidades de volumen

$d_{bg}$  = Distancia vertical entre el centro de gravedad de pesos y el centro de empuje (centro de gravedad del volumen sumergido) del buque que se analice

Esta distancia « $d_{bg}$ » es un valor incierto, ya que la posición del centro de gravedad de pesos puede variar mucho con el tipo de buque, el tipo de carga y la condición de carga (plena, media, lastre, etc.). No obstante lo anterior, si pudiera conocerse la situación de dicho centro de gravedad, podría utilizarse la siguiente fórmula:

$$d_{bg} = KG - D \left( 0,84 - \frac{0,33 - C_b}{0,18 + 0,87 C_b} \right)$$

en donde:

$KG$  = Altura del centro de gravedad de pesos sobre la quilla

$D$  = Calado medio del buque en las condiciones de carga que se consideren

$C_b$  = Coeficiente de bloque al calado  $D$  anterior

Para buques amarrados la resultante de la acción de la corriente será equilibrada por los tiros de las amarras o las reacciones de las defensas, con lo cual la fórmula de cálculo será la misma tomando como  $d_{cg}$  la distancia vertical entre la línea de acción de  $F_{TC}$  y la de las fuerzas de amarras o defensas que lo equilibra medida en el plano de cruzía.

El sobrecalado ( $d_c$ ) debido a estos balances se determinará para buques de casco plano mediante la expresión:

$$d_c = \frac{B \operatorname{sen} \theta_{TC}}{2}$$

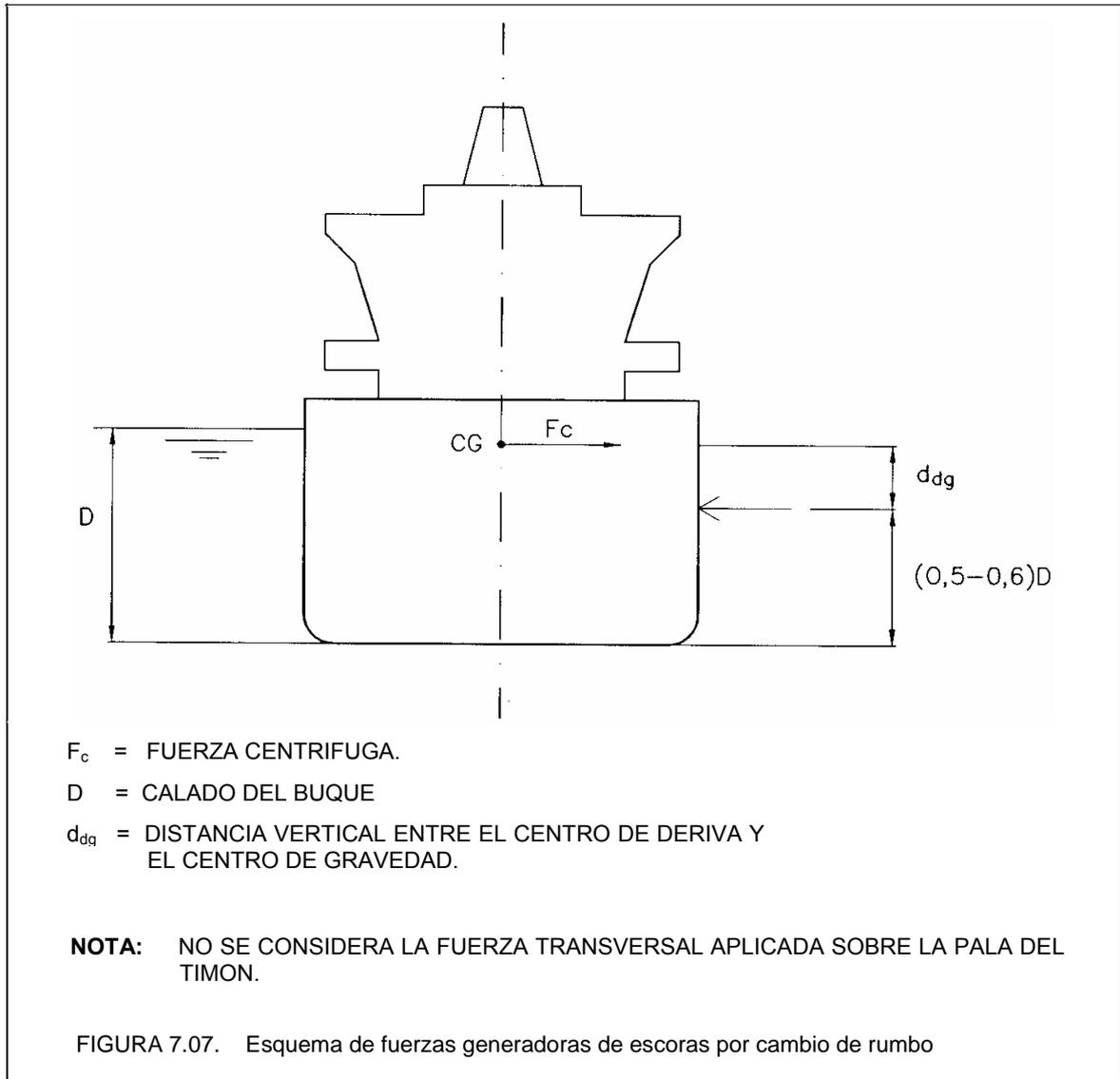
pudiendo adoptarse este valor como característico tanto en estudios determinísticos como semiprobabilísticos, dada la pequeña cuantía del mismo.

El valor de  $F_{TC}$  se evaluará con los criterios establecidos en el Capítulo IV, aplicándolos a las velocidades relativas de la corriente que se correspondan con las que se establezcan como límites de operación en el caso que se considere.

### 7.2.3.8. ESCORAS DEL BUQUE POR CAMBIOS DE RUMBO

Los efectos de escora debidos a la actuación del timón se manifiestan mediante dos movimientos de signos opuestos. En el primer momento en que se pone timón a la banda y antes de que el buque comience a caer, el buque se escorará hacia ese costado porque el centro de presión de la pala del timón está siempre situado por debajo del centro de gravedad del barco. Normalmente este ángulo de escora inicial será pequeño. A medida que el buque comience y continúe su caída se irá desarrollando una fuerza centrífuga aplicada en el centro de gravedad del barco, de valor muy superior a la que actúa en la pala del timón y de sentido contrario, por lo que su acción no sólo anula la escora inicial sino que produce una nueva escora hacia el otro costado, es decir, hacia la banda opuesta a la de caída y de mayor amplitud que la anterior. Ver fig. 7.07.

La determinación de la escora producida por el cambio de rumbo se determinará en este segundo supuesto más desfavorable, admitiendo que las fuerzas centrífugas aplicadas en el centro de gravedad se equilibran con las fuerzas de deriva aplicadas en el centro de deriva, despreciando por tanto el efecto de la carga en la pala del timón o la componente transversal de la acción de las hélices. La contención de este par de fuerzas ocasiona un giro alrededor del eje longitudinal del buque (balance) hasta alcanzar un valor en el que al par adrizante estabilizador equilibre al momento de las fuerzas centrífugas. La importancia de este balance, y el calado adicional que requiere, son insignificantes para la mayor parte de los movimientos que se producen dentro de los puertos (excepto para



embarcaciones menores), dada la reducida velocidad de desplazamiento de los buques e incluso la actuación de otras fuerzas (tiros de amarres, actuación de remolcadores, etc.), que en general reducen el par desequilibrado; sin embargo el balance es importante en navegación exterior en donde puede llegar a alcanzar los 10/15°. Por tanto este efecto deberá ser tomado en consideración en los accesos a puertos, canales de navegación y en general donde la velocidad de desplazamiento del buque puede tomar valores apreciables.

La cuantificación de este giro de balance puede realizarse mediante la fórmula siguiente:

$$\operatorname{tg} \theta_{CR} = \frac{F_c \cdot d_{dg}}{\gamma_w \cdot (I - \nabla d_{bg})}$$

Siendo:

$\theta_{CR}$  = Ángulo de balance del buque ocasionado por la fuerza centrífuga.

$F_c$  = Fuerza centrífuga =  $\frac{M \cdot V_L^2}{R}$

$M$  = Masa del buque que comprende la masa propia y la masa de agua movilizada con él (ver apartado 3.9).

- $V_L$  = Componente de la Velocidad absoluta del buque, en el sentido longitudinal a la trayectoria  
 $R$  = Radio de curvatura de la trayectoria del buque  
 $d_{dg}$  = Distancia vertical entre el centro de deriva y el centro de gravedad  
 $\gamma_w$  = Peso específico del agua  
 $\nabla$  = Desplazamiento del buque expresado en unidades de volumen  
 $d_{dg}$  = Distancia vertical entre al centro de gravedad de pesos y el centro de empuje (centro de gravedad del volumen sumergido) del buque que se analice

Esta distancia « $d_{bg}$ » es un valor incierto, ya que la posición del centro de gravedad de pesos puede variar mucho con el tipo de buque, el tipo de carga y la condición de carga (plena, media, lastre, etc.). No obstante lo anterior, si pudiera conocerse la situación de dicho centro de gravedad, podría utilizarse la siguiente fórmula:

$$d_{bg} = KG - D \left( 0,84 - \frac{0,33 \cdot C_b}{0,18 + 0,87 C_b} \right)$$

en donde:

- $KG$  = Altura del centro de gravedad de pesos sobre la quilla  
 $D$  = Calado medio del buque en las condiciones de carga que se consideren  
 $C_b$  = Coeficiente de bloque al calado  $D$  anterior  
 $I$  = Momento de inercia de la superficie de isocarena referido a su eje longitudinal. Esta superficie de isocarena podría asimilarse a una elipse cuyo eje mayor sea la eslora entre perpendiculares ( $L_{pp}$ ) y su eje menor la manga del buque ( $B$ ), con lo cual el Momento de Inercia tendría la expresión:

$$I = \frac{\pi \cdot L_{pp} \cdot B^3}{64}$$

El sobrecalado debido a este balance se determinará para buques de casco plano mediante la expresión ( $d_r$ ).

$$d_r = \frac{B \text{sen } \theta_{CR}}{2}$$

pudiendo adoptarse este valor como característico tanto en estudios determinísticos como semiprobabilísticos, dada la naturaleza de las variables que intervienen en su evaluación.

#### 7.2.3.9. RESGUARDO PARA SEGURIDAD Y CONTROL DE MANIOBRABILIDAD DEL BUQUE

El resguardo para seguridad y control de la maniobrabilidad del buque ( $rv_{sm}$ ) es el espesor mínimo de la lámina de agua que debe quedar bajo la quilla para que el barco pueda mantener el control de la navegación. Para su determinación se tomarán los valores indicados en la Tabla 7.2, en los que se ha supuesto que siempre se cuenta con el Margen de Seguridad ( $rv_{sd}$ ) especificado en el artículo 7.2.3.10, por lo que en ningún caso podrán aceptarse valores de « $rv_{sm} + rv_{sd}$ » inferiores a los que se indica en dicha Tabla, medidos en la crujía del buque (Ver apartado 7.2.3.11).

Estos valores se tomarán como característicos tanto si el estudio se realiza por métodos determinísticos como semiprobabilísticos.

#### 7.2.3.10. MARGEN DE SEGURIDAD

El margen de seguridad ( $rv_{sd}$ ) es el resguardo vertical libre que deberá quedar siempre disponible entre el casco del buque y el fondo. Para su determinación se tomarán los valores indicados en la Tabla 7.2 que tienden a minimizar el riesgo de contacto del barco con el fondo atendiendo a la naturaleza de éste. Este margen de seguridad deberá tomarse

<b>TABLA 7.2. RESGUARDOS PARA SEGURIDAD Y CONTROL DE LA MANIOBRABILIDAD DEL BUQUE (<math>rV_{sm}</math>) Y MARGEN DE SEGURIDAD (<math>rV_{sd}</math>)</b>			
	$rV_{sm}$	$rV_{sd}$	$rV_{sm} + rV_{sd}$
<b>1. Buques de gran desplazamiento (&gt; 30.000 t)</b>			
— Navegación sobre fondos limosos o arenosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,60 m	0,30 m	0,90 m
• Velocidad del buque limitada ( $\leq$ 8 nudos)	0,30 m	0,30 m	0,60 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,30 m	0,30 m
— Navegación sobre fondos rocosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,60 m	0,60 m	1,20 m
• Velocidad del buque limitada ( $\leq$ 8 nudos)	0,30 m	0,60 m	0,90 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,60 m	0,60 m
<b>2. Buques de mediano y pequeño desplazamiento (<math>\leq</math> 10.000 t, excepto embarcaciones menores, deportivas y pesqueros)</b>			
— Navegación sobre fondos limosos o arenosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,30 m	0,30 m	0,60 m
• Velocidad del buque limitada ( $\leq$ 8 nudos)	0,20 m	0,30 m	0,50 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,30 m	0,30 m
— Navegación sobre fondos rocosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,30 m	0,60 m	0,90 m
• Velocidad del buque limitada ( $\leq$ 8 nudos)	0,20 m	0,60 m	0,80 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,60 m	0,60 m
<b>3. Buques de desplazamientos comprendidos entre 10.000 y 30.000 t.</b>			
— Interpolación linealmente en función del desplazamiento indicado en los apartados 1 y 2			
<b>4. Embarcaciones menores, deportivas y pesqueros</b>			
— Navegación sobre fondos limosos o arenosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,20 m	0,20 m	0,40 m
• Velocidad del buque limitada ( $\leq$ 8 nudos)	0,10 m	0,20 m	0,30 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,20 m	0,20 m
— Navegación sobre fondos rocosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,20 m	0,40 m	0,60 m
• Velocidad del buque limitada ( $\leq$ 8 nudos)	0,10 m	0,40 m	0,50 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,40 m	0,40 m

siempre en consideración, tanto si se utilizan métodos determinísticos como semiprobabilísticos, tal como se especifica en el apartado 2.5.

A efectos de la aplicación de los criterios de la Tabla 7.2 se entenderá que en el caso de muelles cimentados sobre banquetas de escolleras, o con bloques o zarpas situadas por delante del paramento exterior del muelle, se trata de fondos rocosos.

En la presente Recomendación no se establecen resguardos adicionales atendiendo al tipo de buques o a la naturaleza de la carga, ya que se considera que la navegación debe ser igualmente segura en todos los casos. En el supuesto de que en algún caso particu-

lar se desee adoptar precauciones adicionales de seguridad al respecto, se recomienda adoptar condiciones de operación más restrictivas para determinados tipos de buques (p.e. velocidad límite del viento más reducida), en lugar de incrementar las exigencias de un mayor calado.

### 7.2.3.11. COMPROBACIONES A REALIZAR REFERENTES A LOS FACTORES RELACIONADOS CON EL BUQUE

Para determinar la cota más baja que puede alcanzar el buque, incluidos los resguardos para la seguridad y control de la maniobrabilidad y el margen de seguridad, en relación con el nivel de las aguas de referencias (que se analiza en el apartado 7.2.4) se efectuarán las valoraciones siguientes, tomándose la más desfavorable de las dos:

— Determinación en la crujía del buque:

$$H_1 = D_e + d_s + d_q + d_t + 0.7 d_w + rv_{sm} + rv_{sd}$$

— Determinación en las bandas de babor o estribor del buque:

$$H_1 = D_e + d_s + d_q + d_t + d_w + d_v + d_c + d_r + 0.7 \cdot rv_{sm} + rv_{sd}$$

en donde las distintas variables tienen el significado definido en los párrafos anteriores.

Para los estudios realizados por métodos determinísticos se dispondrá de valores concretos de  $H_1$  asociados a los buques más desfavorables (Buque de Diseño). Para los estudios realizados por métodos semiprobabilísticos los valores de  $H_1$  dependerán de las probabilidades de excedencia del oleaje máximo (« $\mu$ », según Nota 1 de Tabla 7.1), lo que permitirá efectuar un análisis de mayor precisión en función de los Riesgos máximos asumibles, las características de la flota, el tráfico previsible y otros factores específicos del Area que se analice, según el procedimiento general descrito en el apartado 2.5, en el que « $\mu$ » es la probabilidad  $p_{ij}$  de que la cota más baja de un buque del tipo « $i$ » en las condiciones de operatividad del intervalo « $j$ » llegue a alcanzar el valor  $H_1$ .

## 7.2.4. FACTORES RELACIONADOS CON EL NIVEL DE LAS AGUAS

Para la determinación del nivel de las aguas en las que se encuentra el buque deberán analizarse y conocerse previamente los siguientes factores:

### 7.2.4.1. MAREA ASTRONÓMICA

**7.2.4.1.1.** La marea astronómica es un movimiento periódico y alternativo de ascenso y descenso de las aguas del mar, producido por las acciones atractivas del Sol, la Luna y otros astros y que se repite con periodicidad (en las costas de España, como media, cada 12 horas y 24 minutos). El método más sencillo de representar gráficamente este movimiento periódico del nivel de las aguas es trazando una curva que tenga por abscisas los tiempos y por ordenadas las alturas a partir de una cota considerada como el cero. Estas curvas son fáciles de trazar por medio de las escalas de marea y las dan trazadas los mareógrafos. Las curvas de marea tienen en general formas irregulares que hacen difícil su representación mediante expresiones matemáticas sencillas; no obstante, para las costas españolas puede simplificarse su análisis, suponiendo que cada onda de marea responde a un perfil senoidal de período  $T_m = 12^h 24^m$  y de amplitud variable en función del Coeficiente de Marea « $C$ » (En todos los puertos españoles con marea se dispone de Anuarios y Tabla de Mareas, en los que se define la forma exacta de la onda de marea, sin necesidad de recurrir a esta aproximación mediante la función senoidal, por lo que el conocimiento de los niveles de agua relacionados con las mareas no entrañan ninguna incertidumbre).

La determinación de la amplitud de la onda se realiza mediante el Coeficiente de Marea « $C$ » que está referido a una unidad de comparación invariable para cada puerto, denominada Unidad de altura «U.A.», que es la altura de la marea sobre el nivel medio del mar los días de mareas vivas equinociales, cuando la declinación de la Luna es nula y ésta y el Sol están a sus distancias medias a la Tierra. Con este sistema de definición la unidad de altura U.A. es la semiamplitud, en metros, de la media de las mareas vivas equinociales, a la que corresponde un coeficiente de Marea  $C = 100$ .

El coeficiente de Marea tiene valores comprendidos entre 118 y 26, que son sus valores extremos, correspondiendo el primero a las grandes mareas vivas equinociales y el segundo a las mareas muertas de los solsticios. Tanto el valor diario de los coeficientes  $C$

como las Unidades de Altura de los diferentes puertos están recogidos en las Tablas y Anuarios de Mareas correspondientes, lo que permite fácilmente conocer la semiamplitud de cada onda de marea mediante la expresión:

$$AMC = U.A. \cdot \frac{C}{100}$$

Por tanto, si las cartas náuticas están referidas al nivel medio del mar en el punto que se considere, la BMVE estaría situada a la cota:

$$BMVE = - U.A. \cdot \frac{118}{100}$$

Si como es más frecuente en los puertos de marea españoles las cartas náuticas están referidas a la BMVE, el nivel medio quedaría situado a la 1, 18 UA y la PMVE a la cota:

$$PMVE = - U.A. \cdot \frac{118}{100}$$

En este caso de estar las cartas náuticas referidas a la BMVE, la Pleamar y Bajamar correspondientes a una onda de marea de coeficiente C estarían situadas respectivamente a las cotas:

$$PM_c = U.A. \cdot \left( 1,18 + \frac{C}{100} \right)$$

$$BM_c = U.A. \cdot \left( 1,18 + \frac{C}{100} \right)$$

Dado que otras cartas náuticas de uso habitual en el ámbito internacional (Almirantazgo, USA, etc.) no están referidas a la BMVE, se recomienda identificar perfectamente e Nivel de referencia de las cartas que estén disponibles, previamente a la utilización de las mismas.

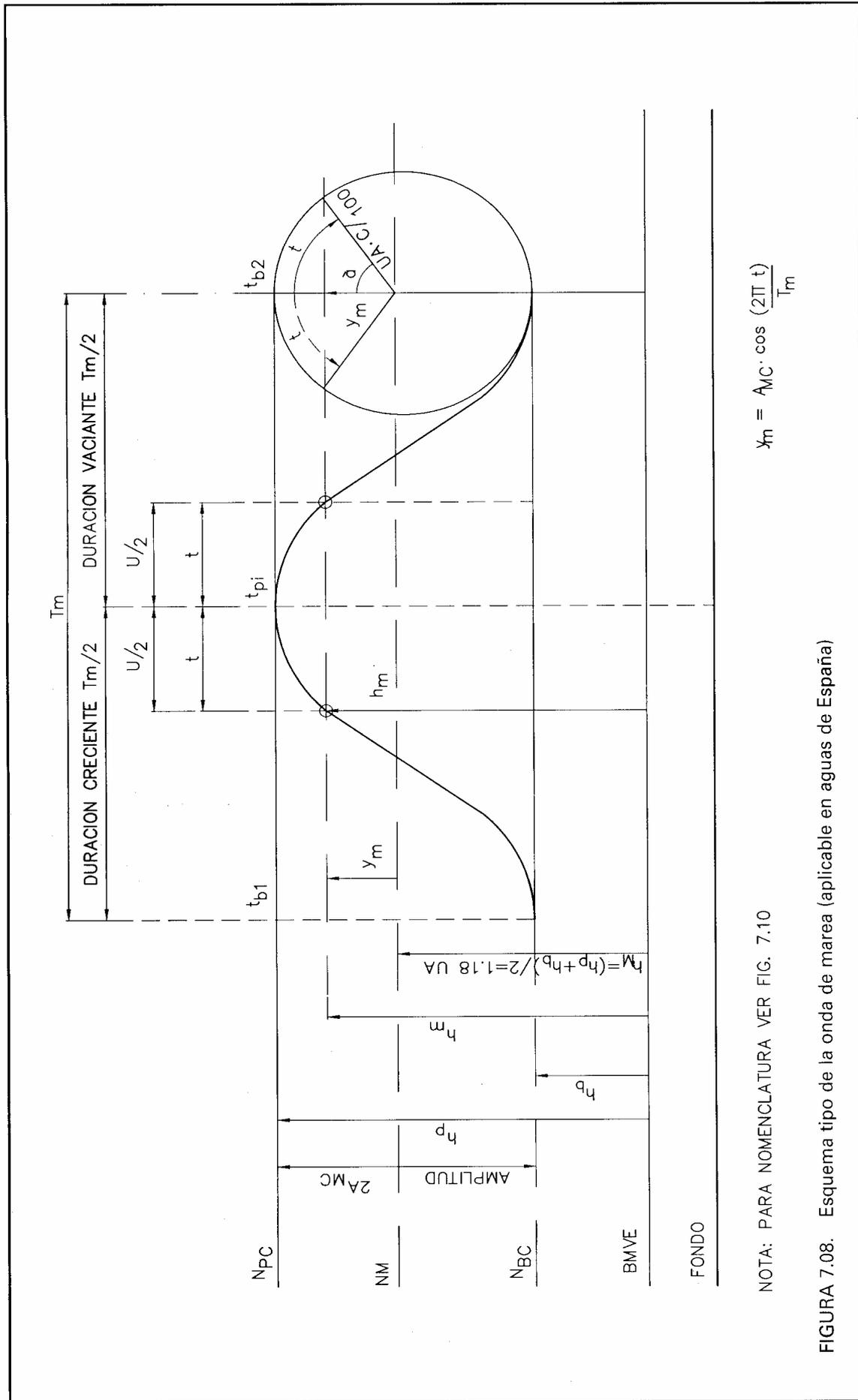
Se hace notar que, con independencia de cuál sea el nivel que se utilice como referencia para las cartas náuticas, e Nivel «Cero» del Puerto o Area que se considere no coincide habitualmente con el cero de las cartas náuticas, ni con el de los planos topográficos de ámbito general, lo que produce un decalaje entre las cotas topográficas referidas al «cero» del Area, las batimétricas y las cotas topográficas de ámbito general, razón por la que se recomienda investigar con carácter previo estos tres niveles de referencia para evitar confusiones posteriores.

Supuesta una onda de marea de coeficiente C y admitiendo la simplificación senoidal de su perfil, resultaría la representación gráfica que se esquematiza en la fig. 7.08, que permite conocer la altura de agua en ese punto y en cada momento debido a la actuación de la marea astronómica.

En el caso de tratarse de mares y lagos interiores las mareas astronómicas pueden estudiarse de un modo similar, si bien el fenómeno físico puede resultar alterado por las menores dimensiones de estos espacios, pudiendo llegar a hacer desaparecer la oscilación de la marea.

En los ríos, el Sol, la Luna y otros astros no producen, en general, mareas sensibles, pero en cambio de las ondas de marea del mar en que desembocan derivan otras que avanzan río arriba, produciendo oscilaciones en el nivel de las aguas, cuya amplitud va reduciéndose hasta anularse en el denominado «límite de marea». Este fenómeno se ve influido por el propio caudal del río, dando lugar a un régimen complejo específico de cada caso que no puede generalizarse para otras corrientes fluviales.

**7.2.4.1.2.** La presencia de ondas de marea en un Area de Flotación o de Navegación significa que los calados reales disponibles varían a lo largo del tiempo, existiendo períodos de tiempo de aguas altas («ventanas») en los cuales la profundidad de agua disponible permitiría efectuar maniobras y operaciones náuticas que, sin embargo, no podrían ser realizadas en períodos de aguas bajas. La adopción de un nivel de agua de referencia más bajo significa que las «ventanas» en las que permanece operativa el Area de Flotación o



Navegación son mayores, pero en contrapartida se incrementan las profundidades de agua requeridas. En el supuesto de que el nivel de referencia se situase en la BMVE, significaría que el Area permanecería permanentemente abierta, al menos por lo que a este parámetro se refiere; en general y tratándose de zonas con carrera de marea la condición anterior puede resultar excesiva al menos para áreas de buques en tránsito, para las que podrían adoptarse niveles de referencia algo más elevados que la BMVE, de manera que se llegase a un punto de equilibrio entre el volumen de la inversión requerida para aumentar y mantener la profundidad de agua, el tráfico previsto de los buques especialmente los de mayores calados y los porcentajes de cierre del Area a la navegación ocasionados por las limitaciones que se impongan a los calados.

En el supuesto de que la maniobra que se analice afecte a una sola zona con dimensiones inferiores a 5 km (boca de puerto, dársena, muelle, etc.), la onda de marea se considerará representativa de todos los puntos; si por el contrario se estuviese analizando un Area con una dimensión longitudinal apreciable ( $\geq 5$  km), tal como pudiera ser un canal de navegación, podría resultar que la Onda de Marea fuera diferente en los diferentes puntos del Area, o al menos que se presentase con un retraso temporal entre unos puntos y otros, tal como se esquematiza en la fig. 7.09. Puede apreciarse en este caso que la anchura temporal de la ventana que define el tiempo operativo para la maniobra que se analice, puede resultar reducida o aumentada en relación con la Onda de Marea sin decalaje.

Con objeto de facilitar el cálculo de la anchura de una «ventana» correspondiente a un nivel de agua predefinido, para una Onda de Marea de Coeficiente  $C$ , se recomienda elaborar un gráfico adimensional del tipo representado en la fig. 7.10, que corresponde al supuesto aplicable a las costas españolas en las que se puede aproximar la forma de la Onda de marea mediante la función senoidal. En estas hipótesis todas las ondas de marea en coordenadas adimensionales son coincidentes, lo que facilita el cálculo tal como se expone en dicha figura. En el supuesto de tratarse de una zona representada por dos Ondas de Marea decaladas temporalmente habría que desplazar la curva representativa de todas las Ondas de Marea, hacia la izquierda o derecha según proceda, en la misma cuantía del tiempo de decalaje entre ambas Ondas.

Se hace notar que la anchura de una ventana representa el tiempo durante el cual se dispone de un nivel de agua igual o superior al predefinido, es decir, es el tiempo operativo para la realización de la maniobra del buque que precise disponer de ese nivel de agua; sin embargo no es el tiempo operativo eficaz ya que habrá que descontar del mismo el tiempo necesario para la realización de la maniobra. Para el caso representado en la fig. 7.09 sería necesario contar con el tiempo necesario para la navegación desde el arranque hasta el final del tramo, para conocer cuál es el tiempo realmente eficaz para poder iniciar la maniobra con la seguridad de terminarla en los plazos disponibles con suficiente nivel de agua. Para la determinación de estos tiempos operativos eficaces se considerará en todos los casos que la maniobra se realiza con la menor velocidad posible compatible con los criterios de explotación del tramo que se analice.

Conocida la forma de la Onda de Marea para cualquier Coeficiente  $C$  y sabida la distribución media anual de las mareas en un Area, en función de sus correspondientes coeficientes de marea (para lo cual bastaría con disponer de los Anuarios o Tablas de Marea durante un mínimo de 3 años consecutivos), podrían obtenerse curvas como la representada en la fig. 7.11, que definen la probabilidad de disponer de un nivel de agua determinado en función de dicho nivel, o lo que es lo mismo el tiempo medio anual operativo de todas las «ventanas» correspondientes a un nivel de agua prefijada, información que facilita la realización de estudios económicos para la selección del nivel de agua que se fije para la operación de los buques. La elaboración de estas curvas sería innecesaria si se disponen de los Regímenes Medios de Frecuencias acumuladas de presentación de niveles de agua asociados a las mareas, en la zona objeto de análisis.

#### **7.2.4.2. MAREA METEOROLOGICA**

Se incluyen en este concepto los cambios en la altura de agua debidos a variaciones de la presión atmosférica, así como los producidos por la acción del viento. La atmósfera no ejerce una presión uniforme sobre la superficie de las aguas; una disminución de la presión en un punto dado implica una subida del nivel del agua y, por el contrario, un incremento supone un descenso. Estas variaciones son imperceptibles cuando el barómetro sube y baja con relativa rapidez, pero cuando se mantiene largamente un régimen de presiones altas o bajas, el nivel de las aguas desciende o sube. La correlación entre estas variaciones del nivel de las aguas y el régimen de presiones no es elemental ya que la configuración de la costa influye en el libre curso de la corriente que se origina a causa del desnivel de las aguas. Los vientos también tienen influencia sobre el nivel de las aguas, ya que cuando son persistentes en una misma dirección media, producen corrientes, lo

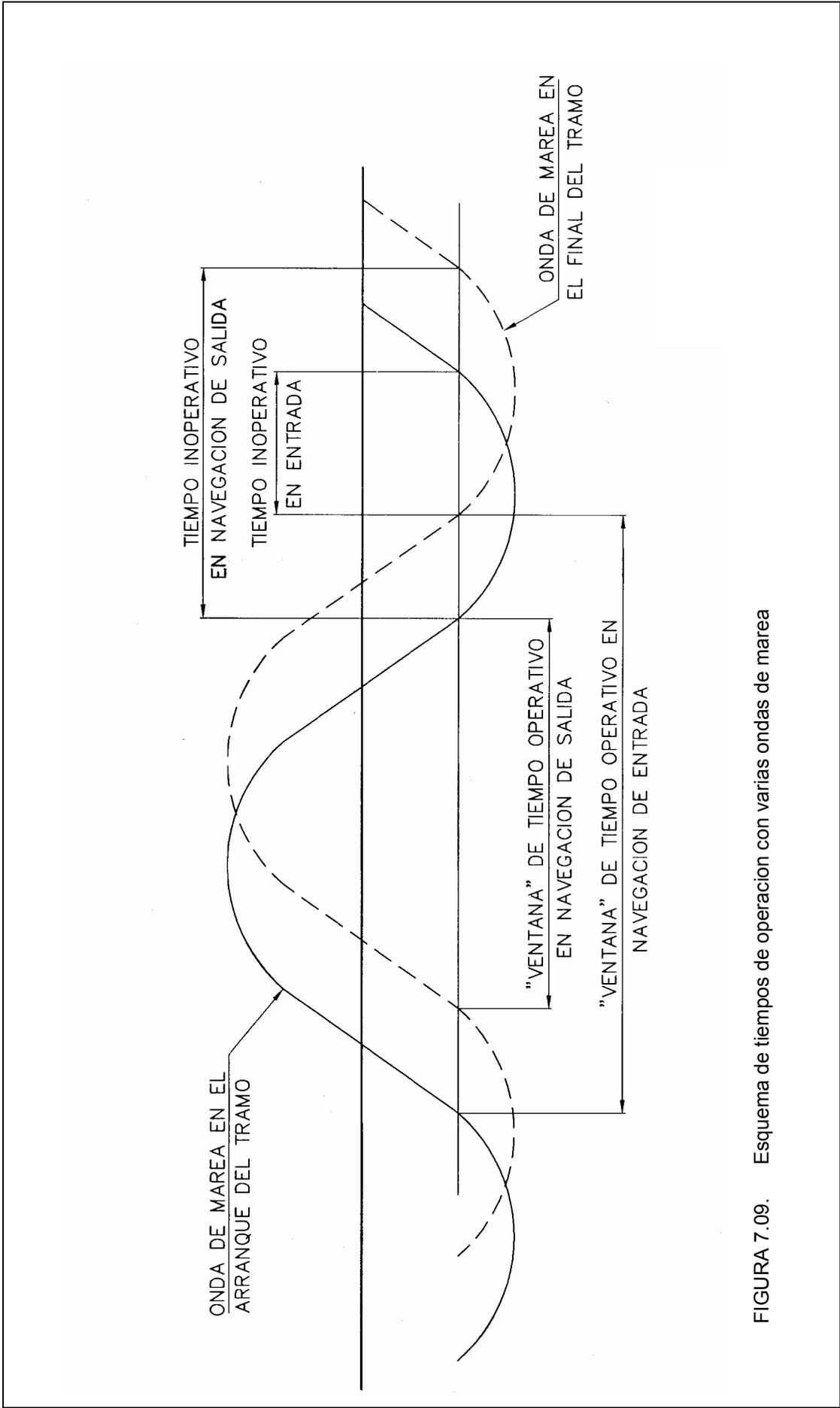
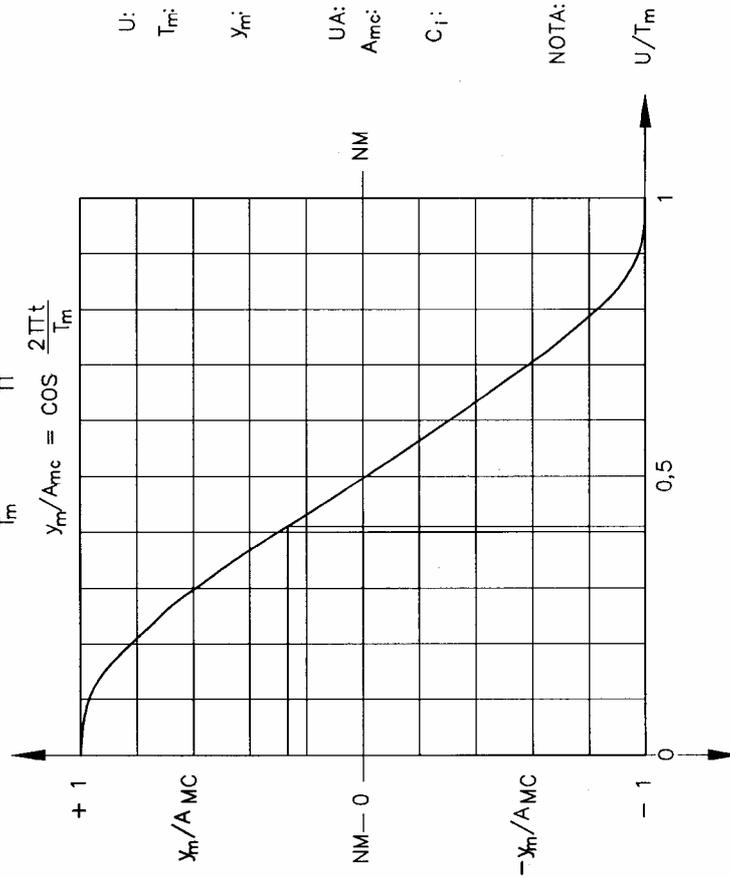


FIGURA 7.09. Esquema de tiempos de operacion con varias ondas de marea

$$\frac{U}{T_m} = \frac{\arccos \left( \frac{y_m}{A_{mc}} \right)}{\pi}$$

$$\frac{y_m}{A_{mc}} = \cos \frac{2\pi t}{T_m}$$



U: ANCHURA TEMPORAL DE UNA VENTANA.

$T_m$ : PERIODO DE LA MAREA.

$$T_m = t_{p2} - t_{p1} = t_{b2} - t_{b1}$$

$y_m$ : ALTURA DE LA MAREA SOBRE EL NIVEL MEDIO (NM)

$$y_m = h_m - h_M$$

UA: UNIDAD DE ALTURA

$A_{mc}$ : SEMIAMPLITUD DE LA MAREA DE

COEFICIENTE  $C=UA \cdot C$

$C_1$ : COEFICIENTE DE LA MAREA QUE ABARCA LA VENTANA

NOTA: CURVA CORRESPONDIENTE A UN PERFIL SINUSOIDAL

EJEMPLO: CALCULAR LA ANCHURA DE LA VENTANA CORRESPONDIENTE A UNA ALTURA EN EL MOMENTO

$h_m=5.60$ , EN UN PUERTO DE  $UA=4$  mts. CON UNA MAREA DE  $C=0.8$  Y  $T_m=12^h 30^m$

$y_m=h_m-h_M=5.60-1.18 \times U=0.88$

$y_m/A_c=0.88/4 \times 0.8=0.275$

$U/T_m=0.41$   $U=0.41 \times 12.5^h=5.14$   $U=5^h 8^m$

FIGURA 7.10. Gráfico adimensional para el cálculo de la anchura de una <<ventana>> en una onda de marea

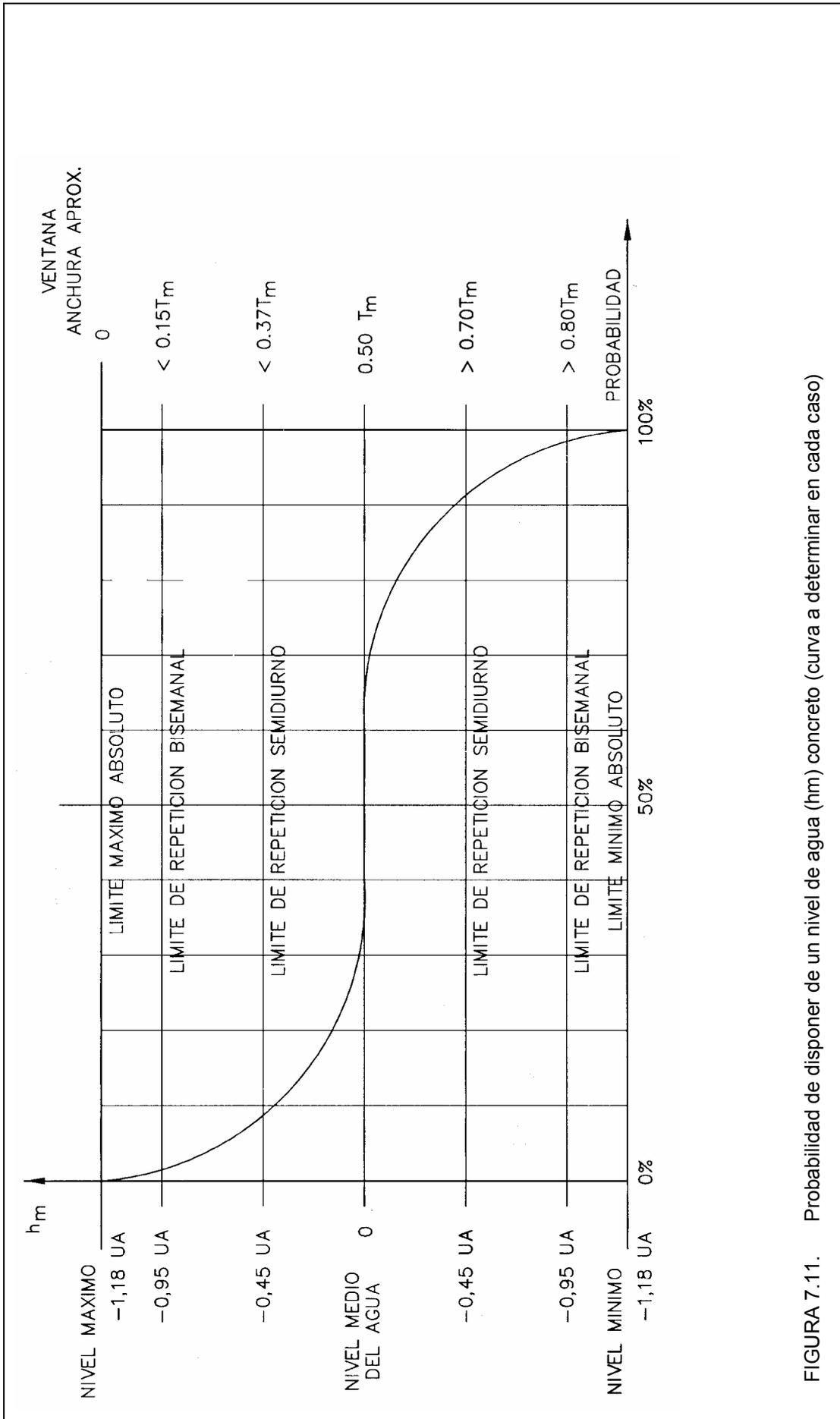


FIGURA 7.11. Probabilidad de disponer de un nivel de agua (hm) concreto (curva a determinar en cada caso)

que implica una elevación del nivel en la zona hacia donde se dirige la corriente y una depresión en la zona de donde viene.

A falta de estudios específicos para el emplazamiento que se considere que analicen de forma conjunta los regímenes de presentación de los niveles de las aguas ocasionadas por las mareas astronómicas y meteorológicas, se recomienda seguir el método determinístico, adoptando en todos los puertos y costas de España que presenten marea astronómica significativa (U.A. > 0,50 m), un valor de la marea meteorológica con elevaciones del nivel del agua de +0,50 m y descensos de -0,30 m, cifras que representan aproximadamente el 70% de sus valores máximos y son por tanto el «Valor de combinación» de esta variable, supuesto por tanto que la marea astronómica sea la variable de efecto predominante. Esta consideración de la marea meteorológica supondría desplazar hacia abajo la curva de las mareas astronómicas en 0,30 m. cuando se trate de analizar profundidades de agua y subir dicha curva en 0,50 m. cuando lo que se analicen sean elevaciones de muelles y gálibos aéreos. Ver apartados 7.3 y 7.4. Esta simplificación supone también que las condiciones meteorológicas permanecen constantes durante toda la curva de marea.

En el caso de disponer de datos estadísticos del nivel de las aguas, se adoptarán como Niveles máximo y mínimo esperables de las Ondas de Mareas conjuntas los valores extremos asociados al máximo riesgo admisible, para el que se adoptará un valor de 0,10 a falta de consideraciones específicas. En este caso los estudios de optimización para seleccionar el Nivel de las aguas de referencia para la operación de los buques, que se recomiendan en este capítulo relacionados con el análisis de la Onda de Marea, se sustituirán por el estudio de los Regímenes Medios de presentación del nivel de las aguas. Se hace notar que el riesgo aquí establecido para fijar los Niveles Máximo y Mínimo se refiere exclusivamente a la probabilidad de presentación de unos u otros niveles de agua y no coincide por tanto con los especificados en la Tabla 2.2 que presuponen la utilización de estos espacios por los buques.

Para los puertos y costas sin marea astronómica significativa (U.A.  $\leq$  0,50 m) las mareas astronómica y meteorológica pueden ser equivalentes, por lo que, salvo que se disponga de los regímenes medios y extremos de presentación del nivel de las aguas en que se seguirán los criterios expuestos en el apartado anterior, se recomienda considerar ambos efectos como una sola onda que tendrá sus valores máximos (PMVE equivalentes) a la cota +1,00 m y sus valores mínimos (BMVE equivalente) a la cota -0,80 m, medidos ambos sobre el Nivel Medio de Mar en la zona. En cualquier caso, en estos puertos sin marea astronómica significativa se recomienda omitir el estudio de optimización del nivel de referencia de las aguas, que se describe en el apartado 7.2.4.7, considerando que este nivel se sitúa en la cota más baja, es decir, -0,80 m por debajo del Nivel Medio de las aguas para operaciones que conlleven permanencia de buques (muelles, atraques, dársenas, etc.) y a la cota -0,60 m por debajo del Nivel Medio de las aguas para operaciones de buques en tránsito (canales, accesos, áreas de maniobras, etc.). Ver apartado 7.2.4.6.

#### **7.2.4.3. RESONANCIAS POR FENOMENOS DE ONDAS LARGAS**

En recintos confinados naturales (bahías) o artificiales (dársenas) se tendrá especial cuidado en comprobar la posibilidad de fenómenos de resonancia debidos a la penetración de ondas largas. En este caso, cuando hay coincidencia de periodos, podrían presentarse alteraciones de niveles de hasta 3,00 m sobre los previstos, por lo que su efecto podría ser de gran trascendencia. Para evitar este supuesto se recomienda adoptar medidas correctoras que impidan que se produzca.

#### **7.2.4.4 REGIMENES FLUVIALES**

En el caso de que las Areas de Navegación o Flotación estén afectadas por cauces fluviales deberá tomarse en consideración el régimen hidráulico correspondiente. En el supuesto de que se disponga de datos estadísticos conjuntos del nivel de las aguas que incorporen la influencia de las mareas y del régimen hidráulico, se adoptarán como valores mínimos y máximos esperables los valores extremos asociados al máximo riesgo admisible, para el que se tomará un valor de 0,10 a falta de consideraciones específicas. En este caso los estudios de optimización para seleccionar el Nivel de las aguas de referencia para la operación de buques, que se recomiendan en este capítulo relacionado con la Onda de Marea, se sustituirán por el estudio de los Regímenes Medios de presentación del nivel de las aguas. En el caso de no disponerse de esta base estadística conjunta se considerará como nivel mínimo de las aguas el valor más bajo resultante de situar las ondas

de marea astronómica y meteorológica centradas en el Nivel del régimen fluvial correspondiente a un riesgo admisible de 0,50 en el Régimen extremal de los Mínimos anuales del régimen fluvial ( $N_{min} RH$ ) y como nivel máximo de las aguas el valor más alto resultante de situar las ondas de marea astronómica y meteorológica centradas con el Nivel del régimen fluvial correspondiente a un riesgo admisible de 0,50 en el Régimen extremal de los Máximos anuales del régimen fluvial ( $N_{max} RH$ ). En este caso los estudios de optimización para seleccionar el nivel de las aguas de referencia para la operación de buques, que se recogen en este capítulo relacionadas con la Onda de Marea, se sustituirán por el estudio del Régimen medio de presentación del nivel de las aguas, que deberá elaborarse combinando el régimen medio hidráulico con el régimen medio de las mareas suponiendo que son fenómenos independientes.

En el caso de que se trate de Áreas sin marea astronómica significativa (U.A. < 0,50 m) en las que el régimen hidráulico tenga una carrera ( $N_{max} RH - N_{min} RH$ ) igual o menor a 1,00, se recomienda omitir el estudio de optimización que se describe en el apartado 7.2.4.7, situando el nivel de referencia de las aguas a una cota -0,80 m por debajo del  $N_{min} RH$  para operaciones que conlleven permanencia de buques (muelles, atraques, dársenas, etc.) y a la cota -0,60 m por debajo del  $N_{min} RH$  para operaciones de buques en tránsito (canales, accesos, áreas de maniobras, etc.). Estas cifras están determinadas suponiendo que existe marea astronómica y meteorológica; en el caso de que sólo exista marea astronómica se tomarán -0,50 y -0,30 respectivamente. En consecuencia, en el caso de que la corriente fluvial no esté afectada por ningún tipo de mareas el nivel de referencia para la determinación de las profundidades del agua quedaría situado al nivel  $N_{min} RH$ .

#### **7.2.4.5. ESCLUSAS Y DARSENAS ESCLUSADAS**

En el caso de que las áreas de navegación estén situadas en esclusas o dársenas esclusadas se considerarán los niveles máximo y mínimo de agua que vengan impuestos por sus condiciones de explotación.

Para el caso de las esclusas y en el supuesto habitual de que la propia esclusa no constituya una limitación a la navegación, se considerarán aplicables a los niveles mínimos de agua los mismos condicionantes que existan aguas abajo de la esclusa. Para los niveles máximos de agua se considerarán los condicionantes más desfavorables que puedan presentarse aguas arriba o aguas abajo de la esclusa. En el supuesto de dársenas esclusadas el nivel de agua de referencia en el interior de la dársena deberá optimizarse atendiendo a los costos de realización y mantenimiento del dragado, en relación con los volúmenes previsible de tráfico y el costo de las esperas que puedan presentarse.

#### **7.2.4.6. NIVEL DE AGUA DE REFERENCIA**

La determinación del Nivel de las aguas en las que se sitúe el buque, a partir del cual se contabilizarán las profundidades de agua requeridas por él, incluyendo resguardos y Márgenes de Seguridad, depende fundamentalmente del grado de operatividad con que se quiera dotar al Área que se analice. En el supuesto de que se quisiera que el Área estuviera permanentemente operativa, al menos por lo que a estos parámetros se refiere, bastaría con fijar el Nivel de las aguas de referencia en los valores extremos más bajos previsible; a este criterio de diseño corresponde las recomendaciones efectuadas en los apartados anteriores, que seleccionan estos niveles mínimos extremos en los casos en los que las variaciones máximas del nivel de las aguas, medidas como diferencia entre los Niveles extremos de aguas altas y aguas bajas, sean poco importantes. Si las variaciones del nivel de las aguas fueran mayores se recomienda efectuar un estudio de optimización, al menos para las Áreas de buques en tránsito, dado que podría conseguirse una economía significativa con una pequeña merma de operatividad.

Como resumen de lo anteriormente expuesto se recogen en la Tabla 7.3 las recomendaciones sobre los niveles de agua a adoptar para las diferentes Áreas de Navegación o Flotación objeto de esta ROM. La expresión «optimizable» que se utiliza en dicha tabla significa que se podrán adoptar niveles de agua más elevados que los valores extremos mínimos esperables, siguiendo el procedimiento que se describe en el apartado 7.2.4.7.

Según puede observarse en dicha Tabla, en todas las Áreas donde se prevé la permanencia de buques (fondeaderos, dársenas, muelles, etc.) se ha optado, salvo en el caso de dársenas esclusadas, por fijar el nivel de referencia de las aguas en valores extremos asociados a riesgos de presentación muy reducidos, es decir, se pretende que estas áreas estén permanentemente operativas por lo que a estos factores se refiere; sin embargo para las Áreas de buques en tránsito se ha optado, salvo en casos de carreras de marea o de regímenes hidráulicos reducidos, por seleccionar un nivel de aguas «optimizable» en función de la operatividad/economía de la instalación que se considere.

TABLA 7.3. NIVEL DE REFERENCIA DE LAS AGUAS PARA DETERMINAR LA PROFUNDIDAD		
Características del área	Area de buques en tránsito	Area de buques en permanencia
<p>A. Zonas con marea astronómica significativa (U.A. <math>\geq 0,50</math> m)</p> <p>— Sin regímenes fluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul> <p>— Con regímenes fluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul>	<p>Optimizable Optimizable desplazando la curva de mareas -0,30 m</p> <p>Optimizable Optimizable</p>	<p>BMVE BMVE -0,30 m</p> <p>Mínimo extremal. Riesgo: 0,10 Mínimo extremal. Riesgo: 0,10</p>
<p>B. Zonas con marea astronómica no significativa (U.A. <math>\leq 0,50</math> m)</p> <p>— Sin regímenes fluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul> <p>— Con regímenes fluviales no significativos (<math>N_{maxRH} - N_{minRH} \leq 1,00</math> m)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul> <p>— Con regímenes fluviales significativos (<math>N_{maxRH} - N_{minRH} &gt; 1,00</math> m)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul>	<p>NM-0,30 m NM-0,60 m</p> <p><math>N_{min} RH-0,30</math> m <math>N_{min} RH-0,60</math> m</p> <p>Optimizable Optimizable</p>	<p>NM-0,50 m NM-0,80 m</p> <p><math>N_{min} RH-0,50</math> m <math>N_{min} RH-0,80</math> m</p> <p>Mínimo extremal. Riesgo: 0,10 Mínimo extremal. Riesgo: 0,10</p>
C. Esclusas	Nivel aguas abajo	No aplicable
D. Dársenas esclusadas	Optimizable	Optimizable
<p>LEYENDA:</p> <p>BMVE: Bajamar mínima viva equinocial</p> <p>NM: Nivel Medio del mar = <math>\frac{PMVE + BMVE}{2}</math></p> <p>PMVE: Pleamar máxima viva equinocial</p> <p><math>N_{min} RH</math>: Nivel extremal esperable de los mínimos anuales del régimen fluvial, asociado a un riesgo admisible</p> <p><math>N_{max} RH</math>: Nivel extremal esperable de los máximos anuales del régimen fluvial, asociado a un riesgo admisible</p> <p>Area de buques en tránsito: Accesos, vías de navegación, canales, bocanas, áreas de maniobra, etc.</p> <p>Area de buques en permanencia: Fondeaderos, amarraderos, dársenas, muelles, atraques, terminales, etc.</p>		

La razón de esta diferencia de criterios es que al tránsito de los buques puede imponérsele restricciones operativas mucho más fácilmente y sin gran pérdida de calidad del servicio, que a la permanencia de los buques. No obstante si en algún caso se deseara optimizar el nivel de las aguas de las Areas de permanencia de buques, podría efectuarse de un modo similar, si bien sería necesario reflejar claramente en los Reglamentos de explotación los procedimientos a seguir para evitar daños (que podrían no ser «accidentales» dado el carácter no aleatorio de las variables que se consideran).

También puede observarse en dicha Tabla, que en algunos casos el nivel de las aguas se ha fijado por criterios deterministas en función de algunos niveles representativos de los

movimientos verticales del agua (BMVE, NM, etc.); por tanto, en estos casos, la base de datos estadísticos sería exclusivamente la necesaria para conocer tales datos representativos. En otros casos se recomienda efectuar un estudio de regímenes extremales o de regímenes medios para la optimización que, en general, obligan a disponer de un mayor volumen de información estadística.

Se hace notar que los niveles de las aguas a que se refiere esta ROM están relacionados fundamentalmente con criterios de operación y no tienen por qué coincidir con los valores extrémosos ligados a criterios de diseño estructural que se recogen en otras ROM.

#### **7.2.4.7. CRITERIOS DE OPTIMIZACION DEL NIVEL DE AGUA DE REFERENCIA Y DE LA PROFUNDIDAD DE AGUA REQUERIDA**

**7.2.4.7.1.** La posibilidad de adoptar como nivel de agua de referencia para situar el buque un valor más elevado que el mínimo esperable conlleva el riesgo de que durante un cierto período de tiempo el Area de Navegación o Flotación que se analice quede fuera de servicio para los buques mayores que se consideren.

Para el caso más habitual de tratarse de un Area sometida a mareas astronómicas y suponiendo una onda de marea cualquiera representativa del nivel de las aguas en el Area que se analice, ya pudo verse en la fig. 7.08 que si las profundidades de agua estuvieran determinadas estrictamente a partir del Nivel de Agua de Referencia, el hecho de que este Nivel esté situado por encima de la bajamar significa que hay una «ventana» de tiempo durante el cual la operación es factible, mientras que en el resto del tiempo la operación no podría realizarse por defecto de la profundidad de agua requerida.

En el supuesto de tratarse de una zona de dimensión longitudinal apreciable con diferentes ondas de marea a lo largo del tramo, también pudo apreciarse en la fig. 7.09 que la ventana de tiempo operativo se establece entre las ondas de marea representativas del inicio y el final del tramo y que esta ventana tiene una duración diferente según cual sea el sentido de navegación del buque.

Los esquemas representados en las figuras 7.08 y 7.09 son los más habituales, si bien podrían considerarse otros supuestos, por ejemplo el caso relativamente frecuente de que se analizase un ciclo completo de entrada, descarga y salida del buque, en el que los requerimientos de calado podrían ser variables a lo largo del tiempo a consecuencia de la descarga.

**7.2.4.7.2.** Si el estudio se realiza no sólo para una onda de marea aislada, sino para la sucesión continuada de ondas de marea (o para el régimen hidráulico que corresponda en cada caso) podrá disponerse de una valoración de los tiempos disponibles de operación en función del nivel de agua de referencia adoptado. Los parámetros habitualmente considerados para decidir el nivel óptimo de las aguas son:

- El tiempo medio anual en que el Area permanece fuera de servicio que podrá determinarse inmediatamente si se han elaborado curvas como la representada en la fig. 7.11 o si se dispone de los Regímenes Medios Anuales de presentación de niveles de agua asociados a las mareas.
- El tiempo medio mensual, correspondiente a cada mes o al menos al mes más desfavorable, en el que el Area permanece fuera de servicio, que también podrá analizarse con facilidad si se elaboran gráficos equivalentes al de la fig.7.11 por meses o si se dispone de los Regímenes Medios mensuales de presentación de niveles de agua asociados las mareas.
- El tiempo máximo continuado esperable en el que el Area permanece fuera de servicio, para lo cual será necesario conocer la función de frecuencia de presentación o Regimen de Duraciones de la variable «tiempo inactivo continuado».

**7.2.4.7.3.** Conviene hacer notar que en el caso de tratarse de Areas sometidas exclusivamente a mareas astronómicas el nivel de agua no es una variable aleatoria, ya que puede predecirse con la anticipación que se quiera y no conlleva por tanto riesgo asociado a incertidumbre. Esta situación de incertidumbre tampoco existe en el caso de presentarse mareas meteorológicas además de las astronómicas y optarse por desplazar las curvas de marea en el valor máximo extremal esperable para la marea meteorológica, que es lo que se recomienda en las costas y Áreas españolas dada la pequeña incidencia de la marea meteorológica; será posible por tanto en este caso seguir la sistemática de valoración de tiempo de inoperatividad que se describe para el caso de Areas sometidas exclusivamente a la marea astronómica.

Para casos más complejos en los que puedan existir varias causas que afectan a los niveles del agua (mareas astronómicas, mareas meteorológicas y regímenes fluviales) será necesario disponer de los Regímenes Medios Anuales, Mensuales y de Duración, con objeto de poder cuantificar los parámetros de inoperatividad citados anteriormente en función del nivel de agua adoptado; en estos casos y si la variación del nivel de agua fuera no predecible con anticipación conllevando riesgo, se precisaría desarrollar estudios más sofisticados dada la multiplicidad de variables que intervendrían en la valoración de los espacios ocupados por los buques.

**7.2.4.7.4.** El Nivel de agua de referencia que se seleccione para emplazar el buque no tiene por qué ser único para todos los tipos de buques y todas las condiciones de operación; obviamente pueden conseguirse los mismos requerimientos de niveles mínimos ocupados por los buques adoptando criterios diferentes según los casos (p.e. los buques más desfavorables operan con mayores niveles de agua asociados a las mareas o con oleajes más reducidos); es decir, la suma de factores  $H_1 + H_2$ , que se definieron en el apartado 7.2, puede Interpretarse en el sentido de determinar el nivel más bajo para los buques más desfavorables en las condiciones límites de operación, o en el de determinar a partir del nivel más bajo prefijado, cuales sean los límites de operación para los diferentes tipos de barcos. La selección del Nivel de agua de referencia y en consecuencia la determinación de la profundidad nominal de agua del Area que se considere es consecuencia de un análisis económico y de operatividad adecuado a las características específicas de cada caso; ello no obstante y con objeto de disponer de unos criterios homogéneos, se recomienda que los Niveles de agua de referencia satisfagan como mínimo los requerimientos recogidos en la Tabla 7.4. La adopción de los requerimientos mínimos recogidos en esta Tabla 7.4 como criterio para determinar los Niveles de agua de referencia y las profundidades de agua consecuentes, permitiría calcularlos sin necesidad de hacer el estudio económico de optimización; el valor adoptado en ese caso cumplirá los requisitos de esta Recomendación pero no permitiría saber si se ha escogido el valor más idóneo. Adicionalmente se recomienda calcular los tiempos de cierre del Area por condiciones climáticas superiores a las Condiciones Límites de Operación, tal como se especifica en el apartado 8.12, contrastándolos con los que suelen aceptarse habitualmente para dichas Areas.

<b>TABLA 7.4. REQUERIMIENTOS MINIMOS DE SERVICIO RECOMENDADOS PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE AGUA DE REFERENCIA</b>		
CARACTERISTICAS DEL AREA	Tiempos máximos de inoperatividad <sup>(1)(2)</sup> (calculados para valores de $H_1$ correspondientes a los Buques de Proyecto)	
	En horas	En n.º de veces
<b>A</b> Areas de buques en tránsito (accesos, vías de navegación, canales, bocanas, áreas de maniobras, etc.) 1. Puertos de interés general — Areas abiertas a todo tipo de barcos  — Areas abiertas a Embarcaciones pesqueras y deportivas (3)  2. Puertos de refugio — Areas abiertas a todo tipo de barcos  — Areas abiertas en Embarcaciones pesqueras y deportivas (3)	100 h. año 10 h mes 6 h consecutivas	10 al año 1 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
	10 h. año 2 h. mes 1 h. consecutiva	1 al año 1 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
	150 h. año 15 h. mes 6 h. consecutivas	15 al año 2 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
	10 h. año 2 h. mes 1 h. consecutivas	1 al año 1 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos

**TABLA 7.4. (Continuación)**

CARACTERÍSTICAS DEL AREA	Tiempos máximos de inoperatividad <sup>(1)(2)</sup> (calculados para valores de $H_1$ correspondientes a los Buques de Proyecto)	
	En horas	En n.º de veces
3. Otros puertos	200 h. año 20 h. mes 6 h. consecutivas	20 al año 2 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
4. Terminales especializados — Pasajeros, Contenedores, Ferries y otros terminales que operen con líneas regulares	100 h. año 10 h. mes 6 h. consecutivas	20 al año 2 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
— Graneles de cualquier tipo y otros terminales que no operen con líneas regulares	200 h. año 10 h mes 6 h consecutivas	20 al año 2 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
B. Areas de buques en permanencia (Fondeaderos, amarraderos, dársenas, muelles, atraques, terminales, etc.)		
1. Puertos de cualquier tipo	20 h. año 10 h. mes 6 h. consecutivas	2 al año 1 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
2. Terminales especializados — Pasajeros, Contenedores, Ferries y otros terminales que operen con líneas regulares	100 h. año 10 h. mes 6 h. consecutivas	5 al año 1 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
— Graneles de cualquier tipo y otros terminales que no operen con líneas regulares	200 h. año 20 h. mes 6 h. consecutivas	20 al año 2 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
<p>(1) Los tiempos de inoperatividad recogidos en esta tabla se refieren exclusivamente a los producidos por un insuficiente nivel de agua de referencia para las Condiciones Límites de Operatividad de los Buques de Proyecto, y no incluyen por tanto los cierres del Area por otras causas diferentes de ésta.</p> <p>(2) Los requerimientos mínimos recogidos en esta Tabla están basados en un porcentaje de utilización del Area por los Buques de Proyecto del 30%, calculado sobre el tiempo útil total disponible (deducido por tanto el tiempo de cierre del Area por cualquier motivo: insuficiencia del nivel de agua, clima marítimo, nocturnidad, etc.). En el supuesto de que este porcentaje de utilización del área sea igual o inferior al 20%, podrán utilizarse valores del doble de los recogidos en la Tabla; asimismo si el porcentaje de utilización del área fuese igual o superior al 40% deberán utilizarse valores de la mitad de los recogidos en la Tabla; para valores intermedios podrá interpolarse linealmente.</p> <p>(3) Los tiempos máximos de inoperatividad se calcularán para valores de <math>H_1</math> máximos correspondientes a los Buques de Proyecto de embarcaciones pesqueras y deportivas.</p>		

## 7.2.5. FACTORES RELACIONADOS CON EL FONDO

Para que la profundidad nominal de agua requerida en un Área de Navegación o Flotación puede quedar garantizada, se precisa tomar en consideración la suma de los factores siguientes ( $H_3$ ).

### 7.2.5.1. MARGEN PARA IMPRECISIONES DE LA BATIMETRIA

Se incluye en este concepto el resguardo adicional que debe preverse para cubrir las imprecisiones de la batimetría. En el estado actual de la técnica de investigación batimétrica realizada con ecosonda y sonar de barrido lateral o sistemas equivalentes puede considerarse que la precisión de los registros obtenidos es superior al 99% de la profundidad de agua existente; las imprecisiones de la batimetría no proceden normalmente del equipo de registro sino de las oscilaciones que puedan presentarse en la embarcación en la que se instalan, oscilaciones que a su vez se deben fundamentalmente al oleaje máximo que se admita durante la campaña de toma de datos y que pueden evitarse con un sistema de compensación del oleaje. Suponiendo que este oleaje está limitado a olas de 0,50 m de altura significativa en aguas exteriores y en 0,25 m en aguas interiores, pueden considerarse los márgenes siguientes:

	Con sistemas de Compensación del oleaje	Sin sistemas de Compensación del oleaje
— Aguas exteriores	1 % de la profundidad de agua	0,25 m + 1 % de la profundidad de agua
— Aguas interiores	1% de la profundidad de agua	0,10 m + 1 % de la profundidad de agua

En el supuesto de que la batimetría no esté realizada con sonar de barrido lateral o sistema equivalente que permita la localización de posibles puntos altos entre dos líneas registradas con el ecosonda no podrían seguirse los criterios anteriores. Para evitar los riesgos que se podrían derivar para la navegación en estos supuestos, se recomienda disponer de una batimetría precisa controlada con sonar de barrido total en todas las áreas de navegación en las que la profundidad de agua sea estricta en relación con los buques mayores que naveguen por ellas. Se entenderán como profundidades de agua estrictas los inferiores al 150% del buque más desfavorable a plena carga cuando se trata de fondos limosos o arenosos y los inferiores al 200% cuando se trata de fondos rocosos.

### 7.2.5.2. DEPOSITO DE SEDIMENTOS ENTRE DOS CAMPAÑAS DE DRAGADO

La profundidad de agua adicional que deberá preverse para los aterramientos que se puedan producir entre dos campañas de dragado dependerá de la dinámica litoral o fluvial del emplazamiento que se considere y del tiempo que transcurran entre dos campañas sucesivas de dragado. Este fenómeno deberá tomarse especialmente en consideración en el caso de cauces fluviales o cuando se trate de tramos de costa sometidos a transportes transversales o longitudinales de sedimentos de cuantía apreciable. A falta de estudios de dinámica litoral o fluvial se recomienda efectuar como mínimo previsiones basadas en la evolución histórica de las profundidades de agua, estableciendo mediciones periódicas de contraste para garantizar que las previsiones no son superadas.

### 7.2.5.3 TOLERANCIA DE EJECUCION DEL DRAGADO

La tolerancia de ejecución del dragado depende fundamentalmente de las características de los suelos, del equipo de dragado utilizado y de las condiciones medioambientales límites en las que se permite la operación de estos equipos. A título indicativo se recomienda adoptar tolerancias de 0,30 m para suelos blandos y 0,50 m para terrenos de naturaleza rocosa.

Esta profundidad de agua adicional no se tomará en consideración en el supuesto de que en el proyecto y ejecución de las obras de dragado no se admitan tolerancias por defecto, ya que en estos casos el control de calidad de las obras de dragado deberá garantizar que no quedan puntos por encima de la cota requerida.

## 7.2.6 PROCEDIMIENTOS EMPIRICOS

Para su aplicación exclusiva en estudios previos se recogen en el presente apartado unos criterios empíricos de uso habitual que cuantifican los factores relacionados con el buque incluyendo su propio calado y los Márgenes de Seguridad ( $H_7$ ) en función de las caracterís -

ticas del Area de Flotación que se analice y del calado (C) del buque que se considere.

	<u><math>H_1</math></u>
— Antepuertos, fondeaderos y vías de navegación exteriores. Bocanas de puertos	
• Abrigados por la forma de la costa	1,10 C
• Poco abrigados	1,20 C
• Desabrigados con oleajes $H_s < 1.00$ m	1,30 C
• Totalmente desabrigados con oleajes $H_s \geq 2.00$ m	1,50 C
— Vías de navegación interiores	
• Abrigadas	1,10 C
• Poco abrigadas	1,15 C
— Áreas de maniobras	
• Abrigadas	1,08 C
• Poco abrigadas	1,12 C
— Muelles y atraques abrigados	
• Para buques grandes ( $D > 10.000$ t)	1,08 C
• Para buques pequeños y medios ( $D \leq 10.000$ t)	1,05 C
— Muelles y atraques poco abrigados	
• Para buques grandes ( $D > 10.000$ t)	1,12 C
• Para buques pequeños y medios ( $D \leq 10.000$ t)	1,10 C

En cualquier caso el resguardo bruto mínimo debe ser de 0,50 m, salvo en el supuesto de embarcaciones pesqueras y deportivas en que éste mínimo podrá reducirse a 0,30 m.

### 7.2.7 MANUALES DE OPERACION

El procedimiento de determinación de profundidad de agua recogido en los apartados anteriores es un criterio de proyecto basado en analizar los buques más desfavorables operando en las condiciones medioambientales límites para las diferentes maniobras analizadas. El método seguido conlleva el análisis de los diversos factores aislados, que van adicionándose progresivamente introduciendo algunos procedimientos sencillos de corrección para tomar en consideración la menor probabilidad de presentación simultánea de variables independientes. El análisis estadístico global de todos los factores actuando simultáneamente no es viable al momento actual.

El método expuesto permite su utilización no sólo como criterio de diseño sino también como Norma de Explotación, desarrollando cualquier combinación de parámetros que se desee en cada caso concreto en función de las características y circunstancias de cada puerto. Podrían así estudiarse a título de ejemplo las condiciones de marea o de oleaje en que podrían operar buques menores que los máximos de diseño, o las condiciones máximas de viento que podrían aceptar los buques mayores de diseño en el supuesto de que no se presentasen las mareas más desfavorables, u otras muchas combinaciones. Con objeto de facilitar esta aplicación de un modo automático en cada caso, se recomienda elaborar Manuales de Operación que cuantifiquen previamente mediante tablas o gráficos los supuestos de aplicación más frecuentes. El Programa ROM tiene previsto al momento de informatizar esta Recomendación, incorporar un programa de explotación que permita efectuar este análisis en todos los supuestos.

### 7.3. GALIBO SOBRE AREAS DE FLOTACION

La determinación de los gálibos aéreos necesarios en las diferentes Areas de Navegación y Flotación se realizará en cada caso tomando en consideración los factores siguientes:

- La altura de los palos o elementos más elevados de la obra muerta de los buques, así como los factores relacionados con los barcos que puedan ocasionar que algún punto alcance una cota más alta que la correspondiente a quilla plana en condiciones estáticas en agua de mar.

- El nivel del Agua que se considere y los factores que afecta a su variabilidad, que determinarán el plano de referencia para emplazar el buque.
- Los márgenes de seguridad que se establezcan para prevenir un contacto del buque con los elementos que vuelven sobre las Areas de Navegación y Flotación.

Al momento presente no se dispone de información estadística amplia y fiable sobre la altura de los palos o elementos más elevados de las superestructuras de los buques, que permitan efectuar un análisis riguroso de esta dimensión, por lo que la posibilidad de implantar un modelo de cálculo similar al desarrollado para las profundidades de agua no tiene utilidad práctica. Por el contrario si que se dispone de estadísticas de puentes construidos sobre Áreas de Navegación que permiten correlacionar e espacio aéreo disponible con la profundidad de agua existente en la zona, sin que por otra parte se conozca

**TABLA 7.5. NIVEL MEDIO DE LAS AGUAS EN CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA AREAS DE BUQUES EN TRANSITO O PERMANENCIA**

Características de la zona	<i>NMO</i>
A. Zonas sin corrientes fluviales	
— Sólo marea astronómica	<i>NM</i>
— Marea astronómica y meteorológica	<i>NM</i> + 0.10 m
B. Zonas con corrientes fluviales	
— Sólo marea astronómica	$NMF + \frac{A_{PMVE} - A_{BMVE}}{2}$
— Marea astronómica y meteorológica	$NMF + \frac{A_{PMVE} - A_{BMVE}}{2} + 0.10 \text{ m}$
C. Esclusas	Nivel aguas arriba
E. Dársenas esclusadas	Estudio de detalle

**LEYENDA:**

*NMO* = Nivel Medio de Operación de las aguas libres exteriores

$$NM = \text{Nivel Medio del Mar} = \frac{PMVE + BMVE}{2}$$

$$NMF = \text{Nivel Medio de la corriente fluvial} = \frac{NME + NMI}{2}$$

*PMVE* = Pleamar máxima viva equinocial

*BMVE* = Bajamar mínima viva equinocial

*NME* = Nivel Medio de Estiaje en corrientes fluviales

*NMI* = Nivel medio de los máximos anuales en corrientes fluviales

*A<sub>PMVE</sub>* = Semiamplitud de onda correspondiente a la *PMVE*

*A<sub>BMVE</sub>* = Semiamplitud de onda correspondiente a la *BMVE*

<b>TABLA 7.6. NIVEL MAXIMO DE LAS AGUAS EXTERIORES PARA ESTUDIOS DE GALIBOS Y DRENAJES</b>	
<b>Características de la zona</b>	<b><math>N_{max} O</math></b>
<p>A. Zonas con marea astronómica significativa (U.A. &gt; 0,50 m)</p> <p>— Sin regímenes fluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul> <p>— Con regímenes fluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul>	<p><math>PMVE</math> <math>PMVE + 0,50</math> m</p> <p>Máximo extremal. Riesgo = 0,10 Máximo extremal. Riesgo = 0,10</p>
<p>B. Zonas con marea astronómica no significativa (U.A. &lt; 0,50 m)</p> <p>— Sin regímenes fluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul> <p>— Con regímenes fluviales no significativos (<math>N_{max} RH - N_{min} RH &lt; 1,00</math> m)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul> <p>— Con regímenes fluviales significativos (<math>N_{max} RH - N_{min} RH &gt; 1,00</math> m)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul>	<p><math>NM + 0,50</math> m <math>NM + 1,00</math> m</p> <p><math>N_{max} RH + 0,50</math> m <math>N_{max} RH + 1,00</math> m</p> <p>Máximo extremal. Riesgo = 0,10 Máximo extremal. Riesgo = 0,10</p>
C. Esclusas	Nivel aguas arriba
D. Dársenas esclusadas	Máximo extremal. Riesgo = 0,10
<p>LEYENDA:</p> <p><math>N_{max} O</math> = Nivel máximo de las aguas libres exteriores en condiciones de operación</p> <p><math>PMVE</math> = Pleamar máxima viva equinocial</p> <p><math>NM</math> = Nivel Medio del Mar = <math>\frac{PMVE + BMVE}{2}</math></p> <p><math>BMVE</math> = Bajamar mínima viva equinocial</p> <p><math>N_{max} RH</math> = Nivel extremal esperable de los máximos anuales del régimen fluvial asociado a un riesgo admisible</p> <p><math>N_{min} RH</math> = Nivel extremal esperable de los mínimos anuales del régimen fluvial, asociado a un riesgo admisible</p>	

con seguridad si dicha profundidad de agua está siendo utilizada o no para la navegación; sin embargo, tomando en consideración que en donde existan profundidades de aguas naturales es previsible que acaben acogiendo tráficos marítimos comerciales compatibles con ellas, se ha optado por establecer los gálibos exentos mediante una simple correlación con las profundidades de agua disponibles en el emplazamiento utilizables comercialmente; en el supuesto de que se prevean futuras ampliaciones de esta profundidad de agua deberá tomarse en consideración que el Area podrá ser operable por buque de mayores dimensiones. El esquema recomendado para calcular el gálibo exento es el siguiente:

- 1.º Determinar el Nivel Medio de Operación  $NMO$  de las aguas, utilizando los criterios de la Tabla 7.5.
- 2.º Determinar la profundidad de agua ( $h$ ) correspondiente a este Nivel Medio de Operación, tomando en consideración los posibles dragados que pudieran efectuarse en la zona. En el caso de que esta profundidad de agua supere los valores máximos requeridos para la navegación de los Buques de Proyecto, se tomará como valor de ( $h$ ) la profundidad de agua requerida por estos Buques.

- 3.º Evaluar el espacio aéreo ( $a$ ) asociado a esta profundidad de agua con los criterios siguientes:

— Tránsito de buques comerciales de cualquier tipo (excepto cruceros de pasaje):

$$a = 5 h, (a_{max} = 60 \text{ m})$$

— Tránsito de buques cruceros de pasaje:

$$a = 7 h, (a_{max} = 70 \text{ m})$$

— Tránsito de buques veleros:

$$a = 10 h, (a_{max} = 50 \text{ m})$$

Los valores máximos de «a» recogidos en las expresiones anteriores ( $a_{max}$ ) se refieren a los buques recogidos en la Tabla 3.1.

- 4.º Determinar el Nivel Máximo de las Aguas existentes en condiciones de Operación  $N_{max}O$ , con los criterios recogidos en la Tabla 7.6.
- 5.º Contabilizar el espacio aéreo «a» por encima del Nivel Máximo del agua ( $N_{max}O$ ) definido en el apartado anterior.
- 6.º Considerar un Margen de Seguridad adicional de 10 m, excepto en las zonas en las que sólo se prevea tráfico de embarcaciones pesqueras y deportivas con esloras menores de 12 m, en las que el Margen de Seguridad adicional podría reducirse a 5 m.

El gálibo exento deberá quedar situado por tanto a la cota:

$$N_{max}O + a + \text{Margen de Seguridad}$$

En el supuesto de que se adopten gálibos inferiores a los que aquí se recomiendan se establecerán las limitaciones correspondientes en la Norma de Explotación del Area de Navegación o Flotación de que se trate.

## 7.4. NIVELES DE CORONACION DE MUELLES

Los niveles de coronación de los muelles medidos en su cantil serán iguales o superiores al nivel más alto que resulte de la aplicación de los criterios siguientes:

### 7.4.1 CRITERIOS DE EXPLOTACION

El nivel de los muelles se establece en función del Nivel Medio de Operación (NMO) de las aguas, incrementando en las cantidades siguientes, en función del desplazamiento de los buques mayores que operen en el muelle:

- Buques de gran desplazamiento ( $\Delta > 10.000$  t) = + 2.50 m
- Buques de desplazamiento medio ( $10.000 \text{ t} \geq \Delta > 1.000$  t) = +2.00 m
- Buques de pequeño desplazamiento ( $\Delta \leq 1.000$  t) (excepto embarcaciones deportivas) = +1.50 m
- Embarcaciones deportivas (Eslora > 12 m) = +1.00 m
- Embarcaciones deportivas (Eslora  $\leq 12$  m) = +0.50 m

El Nivel Medio de Operación (NMO) se determinará en función de las características del emplazamiento siguiendo los criterios recogidos en la Tabla 7.5, titulada «Nivel Medio de las Aguas en condiciones de Operación para Areas de buques en tránsito o permanencia». Esta Tabla está basada en datos de mareas meteorológicas correspondientes a las costas españolas, por lo que es sólo válida para estas zonas geográficas.

Para el caso de muelles de embarcaciones deportivas si la diferencia entre el Nivel Medio de Operación de las aguas (NMO) y el Nivel Mínimo de Referencia para la determinación de las profundidades de agua establecido en el apartado 7.2.4.6, supera la cantidad de 0,80 m se recomienda que el muelle sea de tipo flotante. Asimismo y en el caso de muelles para Ro-Ros si esta diferencia supera la cantidad de 2.00 m se recomienda la instalación de una rampa móvil.

#### **7.4.2. CRITERIOS DE NO REBASABILIDAD DE LAS AGUAS LIBRES EXTERIORES**

El nivel de los muelles se establece en función del Nivel más alto de las aguas libres exteriores (mar, cauce fluvial, etc.) en condiciones extremales de diseño asociado a un riesgo admisible de 0,10, nivel que se incrementará en un resguardo mínimo de 0.50 m.

La determinación de este nivel se realizará utilizando los Regímenes Extremales conjuntos donde existan y en caso contrario analizando combinaciones de hipótesis en las que se contemple que una u otra variable (oleaje, marea, régimen fluvial, etc.) puede ser la de efecto predominante (a lo que se asignará factor 1.00 y a los restantes factores de combinación 0.7). Al realizar este estudio se tomará en consideración las modificaciones del oleaje ocasionadas por las propias obras.

En el caso de que se consideren elementos, (amarres, pasarelas, etc.) que puedan admitir rebases en condiciones excepcionales sin pérdidas significativas de operatividad, podrá efectuarse una optimización de los niveles anteriormente establecidos realizando al respecto el estudio técnico-económico justificativo correspondiente.

#### **7.4.3. CRITERIOS DE NO REBASABILIDAD DEL NIVEL FREÁTICO EN EL TRASDOS DEL MUELLE**

El nivel de los muelles, tanto en su cantil, como en toda su superficie se establecerá con el resguardo suficiente para que el pavimento y las posibles canalizaciones de servicios (agua, luz, electricidad, etc.) queden situadas por encima del Nivel Freático de las aguas del trasdós del muelle; a tal fin se mantendrán los niveles de los muelles al menos 0,50 m. por encima del Nivel Freático determinado en condiciones extremales de diseño asociadas a un riesgo admisible de 0.10.

#### **7.4.4. CRITERIOS DE DRENAJE**

El nivel de los muelles, tanto en su cantil, como en toda su superficie deberá permitir el drenaje de las aguas pluviales en las condiciones más desfavorables de diseño suponiendo que el Nivel de las aguas libres exteriores se encuentra situado a los niveles definidos en la Tabla 7.6 según las características del emplazamiento.

Con independencia de que este drenaje pueda resolverse superficialmente, se recomienda, en previsión de cambios de usos que no permitan el drenaje superficial, dotar de altura suficiente a los muelles para desarrollar sistemas de drenaje subterráneo mediante tuberías descargando por gravedad.