

ANEJO 6

ESTUDIO DE MANIOBRAS PARA EL  
ATRAQUE



## ÍNDICE

1. Objeto.	3
2. Estudio de la maniobra de parada	4
2.1 Determinación de la Curva Evolutiva	4
2.2 Determinación del desvío lateral del navío.	7
2.3. Cálculo de la distancia de parada.	8
3. Anchura mínima de la bocana.	12
4. Estudio del calado.	14



## Anejo 6. Estudio de maniobras para el atraque

### 1. Objeto.

En el presente anejo se pretende analizar la trayectoria que efectuará el buque para el atraque del mismo, de forma que se verifique que existe el espacio suficiente tanto en la dársena del puerto como en la bocana del mismo para que la derrota del buque sea posible.

Para ello se va a recurrir a la *ROM 3.1-99 "Configuración de Puertos"* la cual señala las recomendaciones y sirve como guía de buenas prácticas las cuales se expondrán en el siguiente documento.



## Anejo 6. Estudio de maniobras para el atraque

### 2. Estudio de la maniobra de parada

Como se ha comentado con anterioridad, se basará el siguiente estudio en la ROM 3.1-99 “Configuración de Puertos”. La ROM 3.1-99 en su capítulo 6, describe las recomendaciones basadas en el estudio de ciertas trayectorias fijas expresadas mediante la representación de las denominadas Curvas Evolutivas y Maniobras de Parada, las cuales nos ofrecen la capacidad de gobernabilidad de un buque y que se estudiarán a continuación.

#### 2.1 Determinación de la Curva Evolutiva

Las denominadas curvas evolutivas describen la trayectoria de giro de los buques. Vienen representadas para diferentes velocidades y ángulos de timón otorgando así una visión de la trayectoria que experimentará el buque en las condiciones en las que se encuentre en el momento de maniobrar.

Cada curva evolutiva es única para cada navío pues esta depende de la posición del centro de gravedad del mismo y, al carecer de la curva evolutiva del buque de estudio se usarán las curvas 6.06, 6.07 y 6.08 del capítulo 6 de la ROM 3.1-99 “Configuración de Puertos” tal y como se indica en el apartado 6.2.5 de la misma para determinar el avance, la desviación lateral y el diámetro del círculo de rotación para el supuesto de buques de quilla plana a plena carga navegando en profundidades de agua superiores a 5 veces el calado del buque.

En anejos anteriores se determinaron las dimensiones del buque de proyecto las cuales se recuerdan en la siguiente tabla.

TPM (t)	DESPLAZAMIENTO (t)	ESLORA TOTAL (L) (m)	LP P (m)	MAN GA (m)	PUN TAL (m)	CALAD O(m)	COEF. BLOQUE
30.277	19.000	181	53,7	25	16,6	6	0,63

Tabla 1. Características del buque de proyecto. (Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la ROM 3.1-99.)

Para hallar las curvas evolutivas es básico conocer el valor del denominado Factor de timón ( $F_t$ ) que se calcula mediante la siguiente expresión:

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

Siendo:

- $S_t$  = Superficie de la pala del timón



## Anejo 6. Estudio de maniobras para el atraque

- $L_{pp}$ =Eslora entre perpendiculares
- $D$ = Calado del buque a plena carga

Conociendo como datos de partida la eslora entre perpendiculares y el calado del buque a plena carga, tan sólo falta por conocer la superficie de la pala la cual, según el apartado 3.4.2 de la norma se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S_t = \frac{L_{PP} \cdot D}{100} \cdot \left[ 1 + 25 \cdot \left( \frac{B}{L_{PP}} \right)^2 \right]$$

Siendo

- $B$ =Manga del buque

De este modo sustituyendo en la fórmula los datos correspondientes de la Tabla 1 se obtiene una superficie de timón equivalente a  $15,32 \text{ m}^2$  y, sustituyendo al valor obtenido en la fórmula inicial se obtiene un factor de timón de 0,016616. Cálculos los cuales se adjuntan a continuación

$$S_t = \frac{153,7 \cdot 6}{100} \cdot \left[ 1 + 25 \cdot \left( \frac{25}{153,7} \right)^2 \right] = 15,32 \text{ m}^2$$

$$F_t = \frac{15,32}{153,7 \cdot 6} = 0,16616$$

No obstante, para la interpretación de las gráficas se necesita la inversa del factor del timón:

$$\frac{1}{F_t} = 60,18$$

De este modo, entrando en la *Figura 1* con  $F_t=60,18$ , un coeficiente de bloque  $C_b= 0,63$  el cual se aproximará a 0,7 y un ángulo de timón  $\alpha_t$  de  $45^\circ$  se obtiene una relación entre el diámetro del círculo de rotación y la eslora entre perpendiculares es la observable en la *Figura 1*.

$$\frac{\emptyset}{L_{PP}} = 1,55$$



## Anejo 6. Estudio de maniobras para el atraque

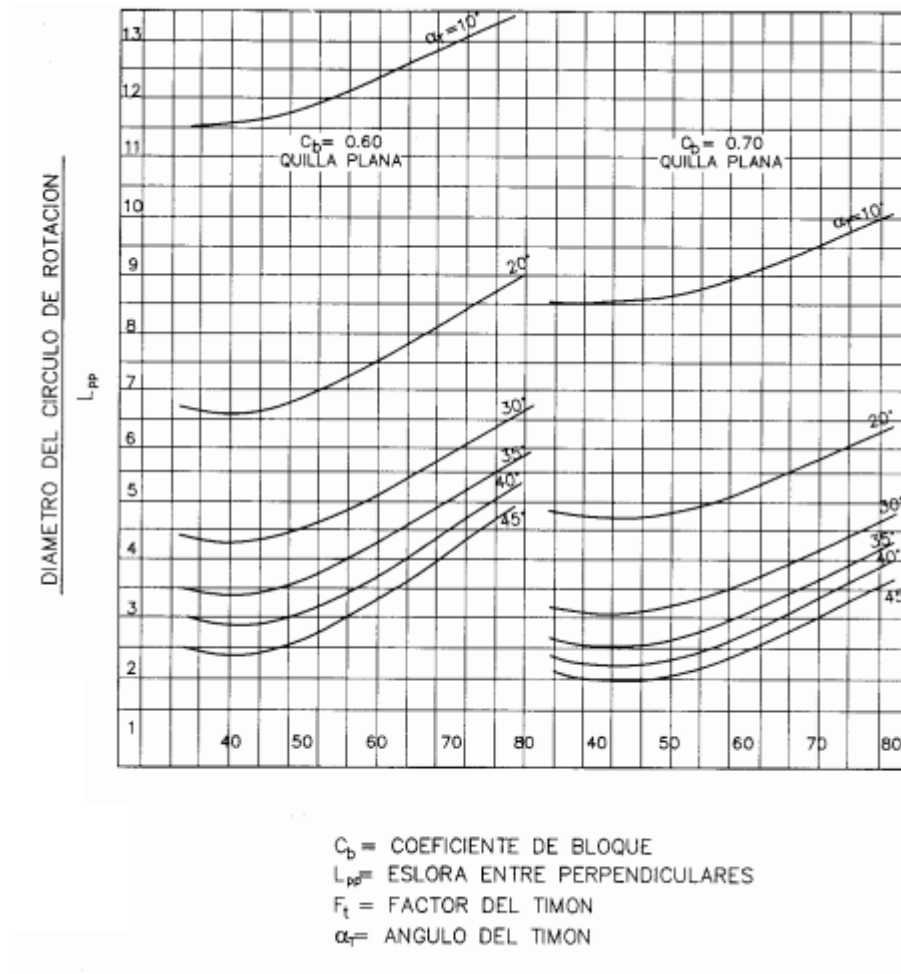


Figura 1. Representación de los distintos diámetros de los círculos de rotación (Fuente: ROM 3.1-99)

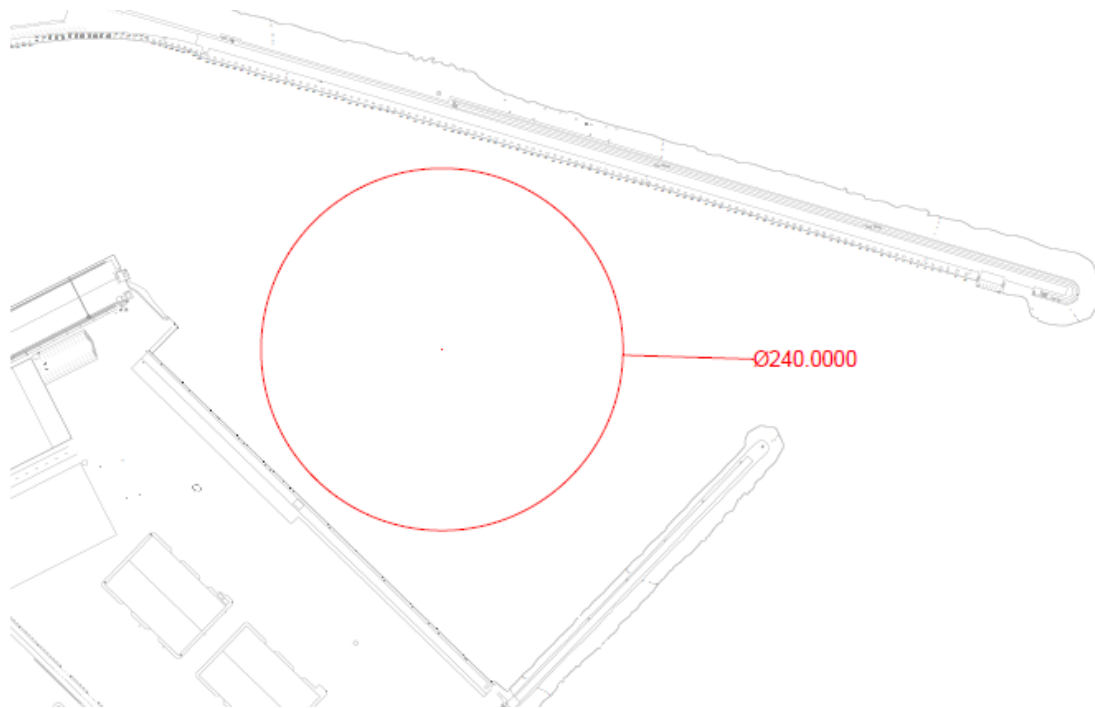
De este modo el diámetro del círculo de rotación será de:

$$\phi = 153,7 \cdot 1,55 = 238,23 \sim 240 \text{ m.}$$

Como se puede apreciar en la *Figura 2*, el círculo de rotación del buque cabe perfectamente en la dársena del puerto.



## Anejo 6. Estudio de maniobras para el atraque



### 2.2 Determinación del desvío lateral del navío.

Para el caso del desvío lateral del navío se aplican gráficas similares a las descritas en el apartado anterior siendo normalmente los resultados ligeramente inferiores que para el círculo de rotación.



## Anejo 6. Estudio de maniobras para el atraque

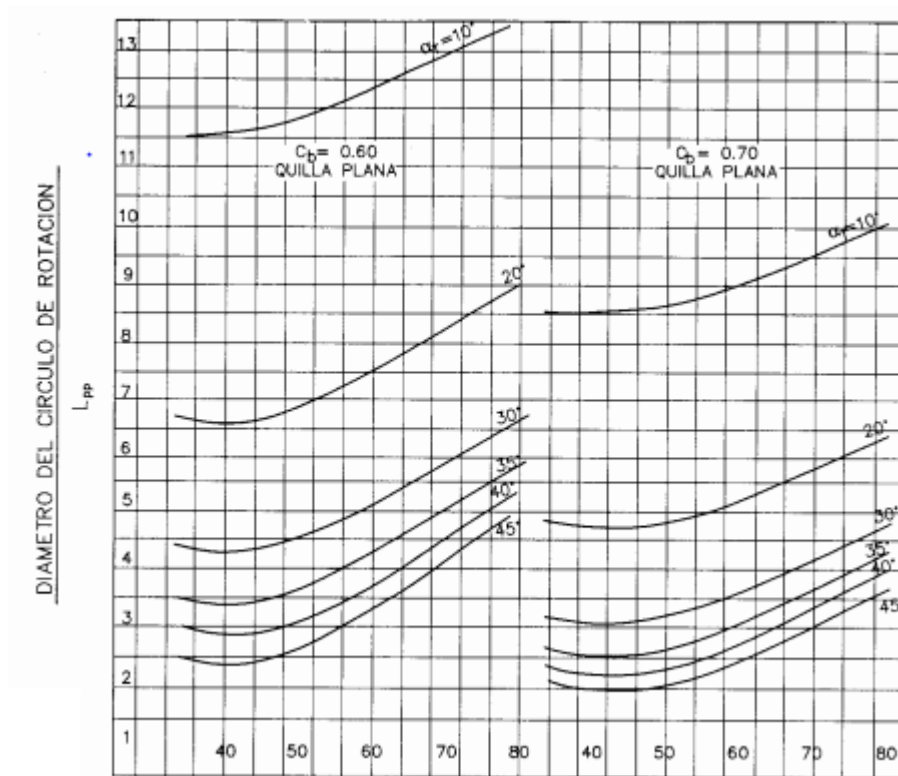


Figura 3. Representación del desvío lateral del buque (Fuente: ROM 3.1-99).

Tal y como se puede apreciar en la *Figura 2* se obtiene del mismo el desvío lateral obteniendo los siguientes resultados:

$$\frac{\text{Desvío}}{L_{pp}} = 1,5$$

$$\text{Desvío} = 1,5 \cdot 153,7 = 230,55 \text{ m.}$$

No obstante, cabe señalar que los resultados hallados, tanto del diámetro de rotación como del desvío lateral del buque son calculados para profundidades mayores a 5 veces el calado del buque (30 m. para el caso de estudio). A pesar de ello siguen siendo fiables para el desarrollo del proyecto.

### 2.3. Cálculo de la distancia de parada.

La obtención de la distancia de parada de un buque viene afectada por diversos factores tal y como se expondrán en la fórmula para el cálculo de la misma posteriormente; sin embargo se desea señalar que para el caso estudiado se despreciarán los efectos de vientos y marea al ocurrir la maniobra de atraque en aguas abrigadas y, que para profundidades





## Anejo 6. Estudio de maniobras para el atraque

inferiores a 5 veces el calado del buque (30 m. ) los resultados obtenidos supondrán una solución conservadora dado que para profundidades pequeñas la distancia de parada se ve reducida puesto que el buque sufre un importante efecto de frenado debido a que se aumenta la resistencia al avance del mismo. La fórmula de la distancia de parada es la siguiente:

$$D_p = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta}{g} \cdot C_m \cdot V_o^2 \cdot \left[ 1 - 0.32 \cdot \frac{R_{ao}}{T_p} \right] \cdot \frac{1}{T_p} + \frac{t_{ri} \cdot V_o}{2}$$

Siendo:

- $\Delta$ = Desplazamiento del buque, expresado en peso = 19.000 Tm).
- $g$ = Aceleración de la gravedad = 9,81 m/s<sup>2</sup>.
- $C_m$ = Coeficiente de masa hidrodinámica que es el cociente entre la masa total del sistema en movimiento y la masa del buque. Para este tipo de movimiento se adopta un valor de  $C_m = 1.08$ .
- $V_o$ = Velocidad absoluta del buque en el momento de iniciarse la maniobra de parada. La misma se fija en 6m/s que es la velocidad más desfavorable en la que se cumple la fórmula anterior según el artículo 6.3.2 de la ROM3.1-99.
- $R_{ao}$ = Resistencia del buque al avance en el momento de iniciarse la maniobra de parada = 0 (quedando así del lado de la seguridad).
- $t_{ri}$  = Tiempo de reacción necesario para invertir el empuje del propulsor desde el momento en que se inicia la maniobra de parada hasta que se alcanza el valor  $T_p$  en marcha atrás. Se asumirá, debido a la falta de datos, 20 s.
- $T_p$ = Empuje del propulsor en marcha atrás durante la maniobra de parada. Como se desconoce su valor se tomarán las 2/3 partes del impulso marcha adelante, el cual se determina según el apartado 3.3.1 de la ROM 3.1-99.

En el apartado citado anteriormente se propone como método de cálculo del empuje del propulsor la fórmula siguiente:

$$W = W_0 \cdot \left( \frac{\Delta}{1000} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left( \frac{V_r}{10} \right)^3$$

Donde el valor  $W_0$  se obtiene de la siguiente figura:



## Anejo 6. Estudio de maniobras para el atraque

TABLA 3.2. POTENCIA $W_o$ DE BUQUES MODELO		
GRADO DE VELOCIDAD	TIPO DE BUQUES	$W_o$ (CV)
$V_r \cdot L_{pp}^{-1/2} < 1.2$	Buques lentos (graneleros, petroleros, etc.)	200-250
$1.5 < V_r \cdot L_{pp}^{-1/2} < 1.7$	Buques moderadamente rápidos (mercantes, portacontenedores, etc.)	250-400
$1.9 < V_r \cdot L_{pp}^{-1/2} < 2.2$	Grandes buques rápidos (cruceros, portaaviones, etc.)	300-400
$2.4 < V_r \cdot L_{pp}^{-1/2} < 3.4$	Buques muy rápidos (buques de guerra, transbordadores, etc.)	500-650
$V_r \cdot L_{pp}^{-1/2} \approx 5.0$	Patrulleras rápidas, guardacostas	800-1.200
$1.8 < V_r \cdot L_{pp}^{-1/2} < 2.7$	Embarcaciones rápidas de pequeña dimensión (remolcadores, pesqueros, etc.)	600-1.200
<b>Notas:</b> $V_r$ = Velocidad relativa del buque con respecto al agua, en nudos. $L_{pp}$ = Eslora entre perpendiculares, en metros.		

Figura 3. Potencia  $W_o$  de buques modelo. (Fuente: ROM 3.1-99)

Con:

- $L_{pp} = 153,7$  m.
- $V_r = 12$  nudos (6 m/s)

$$V_r \cdot L_{pp}^{-1/2} = 0.968 < 1,2 \rightarrow W_o = 250 \text{ CV}$$

Introduciendo los datos en la fórmula anterior:

$$W = 250 \cdot \left(\frac{19000}{1000}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{12}{10}\right)^3 = 3076 \text{ CV}$$

$$T_p = \frac{W}{V_r} = \frac{3076}{12} = 256,33 \frac{\text{CV}}{\text{nudos}}$$



## Anejo 6. Estudio de maniobras para el atraque

Aplicando lo mencionado anteriormente (la potencia marcha atrás se puede asumir como 2/3 de potencia marcha adelante):

$$T_p = \frac{2}{3} \cdot 256,33 = 171 \frac{CV}{nudos}$$

Así pues, la distancia de parada del buque es la siguiente:

$$D_p = \frac{1}{2} \cdot \frac{19.000}{9,81} \cdot 1,08 \cdot 12^2 \cdot \left[ 1 - 0,32 \cdot \frac{0}{171} \right] \cdot \frac{1}{171} + \frac{20 \cdot 12}{2}$$

$$D_p = 276 \text{ m.}$$

El buque requerirá de 276 metros para realizar la maniobra de parada.



### 3. Anchura mínima de la bocana.

La ROM 3.1-99 en su capítulo 8 fija los requerimientos en planta necesarios para la correcta maniobrabilidad del navío y, uno de los mismos, es la anchura mínima de bocana según la cual se establezca un resguardo suficiente para la seguridad del buque. En caso de vías con un solo carril de navegación (como es el caso estudiado) en su capítulo 8.4.3.2. la ROM 3.1-99 recomienda la siguiente fórmula:

$$B_n = B + b_d + 2 \cdot (b_e + b_r + b_b) + (rh_{sm} + rh_{sd})_i + (rh_{sm} + rh_{sd})_d$$

Donde:

- $B$ =Manga máxima de los buques que circularán por el área de navegación=25 m.
- $b_d$ =Sobreancho de la senda del buque producido por el ángulo de deriva para corregir la misma ocasionada por la incidencia de los vientos, oleajes, corrientes o remolcadores. Se calcula de la siguiente forma:

$$b_d = L_{PP} \cdot \sin \beta$$

Con  $\beta$  adoptando un valor de  $5^\circ$  tal y como se indica en el apartado mencionado anteriormente dado que la relación  $h/D < 1,2$ . Donde (h) es la profundidad del agua y (D) el calado del buque. Así pues:

$$b_d = 153,7 \cdot \sin 5^\circ \rightarrow b_d = 13,4 \text{ m.}$$

- $b_e$ =Sobreancho por errores de posicionamiento debido a la diferencia entre la verdadera posición del buque y la posición estimada por el capitán. Para el caso de estudio, el posicionamiento será llevado de forma visual entre alineaciones de boyas o balizas que marquen los límites de la vía. Además, la operación se realizará sin práctico de forma que se obtiene un valor de 20 m.
- $b_r$ =Sobreancho para respuesta. Valora la desviación adicional que se produce desde que se detecta la desviación del buque y el momento en el que se corrige la misma. Este sobreancho se calcula mediante la expresión:

$$b_r = (1,5 - E_{max}) \cdot b_{ro}$$

Donde:



## Anejo 6. Estudio de maniobras para el atraque

➤  $E_{max}$ =Riesgo máximo admisible determinado con los criterios de la Tabla 2.2 según la cual para el riesgo de destrucción total (opción conservadora) una posibilidad de pérdidas humanas reducida y una repercusión económica alta se obtiene un valor de  $E_{max}$  correspondiente a 0,10

➤  $b_{ro}$ =Sobreancho de respuesta que, para relaciones de  $h/D \leq 1,2$  y, al ser un crucero un buque de maniobrabilidad media se asume un valor de  $0,2 \cdot B$ .

De este modo:

$$b_r = (1,5 - 0,10) \cdot (0,2 \cdot 25) \rightarrow b_r = 7 \text{ m.}$$

➤  $b_b$ =Sobreancho por balizamiento el cual a falta de datos se tomará 10 m.

➤  $rh_{sm} + rh_{sd}$ = Resguardo adicional que debe considerarse a cada lado de la vía para que la navegación no se vea afectada por efectos de succión y rechazo de las márgenes ( $rh_{sm}$ ) y entre el buque y los taludes de la vía navegable ( $rh_{sd}$ ). Para velocidades de 4 m/s y taludes tendidos se adopta un valor de  $0,3 \cdot B$ .

El ancho de bocana mínimo será:

$$B_n = 25 + 13,4 + 2 \cdot (20 + 7 + 10) + (0,3 \cdot 25)_i + (0,3 \cdot 25)_d \rightarrow B_n = 127,4 \text{ m.}$$



#### 4. Estudio del calado.

En la ROM 3.1-99 en lo referente al estudio del calado se plantea la formulación para resolver el mismo en el apartado 7.2.3.11.; en el cual que se establece que, la profundidad mínima de agua que requiere el buque será la más desfavorable de las dos siguientes ecuaciones:

- Determinación en la crujía del buque:

$$H_1 = D_e + d_s + d_g + d_t + 0,7 \cdot d_w + rv_{sm} + rv_{sd}$$

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

$$H_1 = D_e + d_s + d_a + d_t + d_w + d_v + d_c + d_r + 0,7 \cdot rv_{sm} + rv_{sd}$$

Donde:

- $D_e$  = Calado estático del buque.
- $d_s$  = Cambio en la salinidad del agua la cual se ve reflejada como un cambio en el calado del buque. Afecta únicamente cuando el navío pasa de navegar en aguas saladas a navegar en aguas dulces dado que es cuando la situación es más desfavorable por la pérdida de densidad del agua. Se adoptará 0 como valor.
- $d_g$  = Sobrecalado por distribución de cargas producidos por las distintas condiciones de carga que provocan escoras o deformaciones. Para cruceros se cifra en 0,002  $L_{pp}$ .
- $d_t$  = Trimado dinámico o *squat*. Este incremento de calado se debe al movimiento del barco a una velocidad determinada generando un descenso del nivel del agua. Este efecto es perceptible en zonas confinadas y con poco calado como es la dársena de modo que se procede al estudio del mismo.

$$d_t = 2,4 \cdot \frac{\nabla}{L_{PP}^2} \cdot \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \cdot K_s = 0,326 \text{ m.}$$

Donde:

- $\nabla$  = Desplazamiento del buque ( $m^3$ ) = 19.000  $m^3$ .
- $K_s$  = Coef. De corrección para canales sumergidos. En este caso se tomará  $K_s=1$ .



## Anejo 6. Estudio de maniobras para el atraque

- $F_{nh}$  = Número de Froude =  $\frac{V_1}{\sqrt{g \cdot h}} = 0,394$ 
  - $V_1$  = Velocidad relativa del buque respecto del agua = 4 m/s.
  - $g$  = Aceleración de la gravedad = 9,81 m/s<sup>2</sup>.
  - $h$  = Profundidad del agua en reposo = 10,5 m.

➤  $d_w$  = Efectos del oleaje sobre el barco específicamente, los verticales. Al tratarse de aguas abrigadas, la altura de ola significativa  $H_s$  es inferior o igual al medio metro siendo, por tanto, estos efectos despreciables.

➤  $d_v$  = Actuación del viento sobre el navío. Este efecto, tal y como se habla en el apartado 7.2.3.6. de la ROM 3.1-99, es mínimo para el caso aquí tratado pudiendo generar únicamente un giro alrededor del eje longitudinal del barco (balance).

➤  $d_c$  = Actuación de la corriente sobre el navío. Al disponer de aguas abrigadas en el interior del puerto, este efecto se ve reducido a 0.

➤  $d_r$  = Escora del buque por cambios de rumbo. Este efecto principalmente se basa en una escora y balance del navío de modo que también se despreciará este efecto al no provocar sobrecalados.

➤  $rv_{sm}$  = Resguardo para seguridad y control de la maniobrabilidad del buque necesario, para que el barco pueda mantener el control de su navegación. Este se obtiene según la tabla 7.2 de la ROM 3.1-99. De este modo  $rv_{sm} = 0,25$  m.

➤  $rv_{sd}$  = Margen de seguridad también determinado en la tabla mencionada anteriormente. Para este caso  $rv_{sd} =$

Así pues, en la siguiente tabla se puede apreciar un resumen de todos los valores mencionados anteriormente:

De	6
ds	0
dg	0,31
dt	0,326
dw	0
dv	0
dc	0
dr	0
rvsm	0,25



## Anejo 6. Estudio de maniobras para el atraque

rvsd	0,3
------	-----

Tabla 2. Resumen de los sobrecalados. (Fuente: Elaboración propia).

De este modo, aplicando las fórmulas anteriores se obtienen los siguientes valores de  $H_1$ :

- Crujía:  $H_1=7,18$  m.
- Bandas de babor o estribor del buque:  $H_1=7,11$  m.

El calado más restrictivo es el correspondiente al plano de la crujía del buque de forma que durante toda la maniobra se le debe de asegurar al buque un calado de 7,11 m.