

Siendo:

- $l_c$  :
- longitud de contacto buque/estructura (en sistemas de atraque sin defensas).
  - longitud de contacto buque/defensa (en sistemas de atraque con defensas continuas).
  - longitud de contacto defensa/estructura (en sistemas de atraque con defensas discontinuas)

Para la definición de las longitudes de contacto, ver el apartado 4.6.4.4.3.2.

$b$  : dimensión de la estructura en la dirección perpendicular a la línea de atraque.

sin perjuicio de que en estructuras de pequeña anchura se puedan aplicar criterios específicos más favorables en función de su tipología y características estructurales (por ejemplo, en pantallas de tablestacas metálicas suele considerarse cuatro veces la distancia entre anclajes).

La deformación a tomar en consideración en cada caso para la definición de las curvas de comportamiento será la resultante de las debidas al terreno de cimentación y a la propia estructura en el punto de aplicación de la carga de impacto. En los apartados 3.5.7, 3.6.9, 3.7.11.2, 3.10 y Parte 4 de la ROM 0.5-05 se incluyen recomendaciones sobre los procedimientos de estimación de las deformaciones horizontales debidas al terreno en obras, tanto con cimentación superficial como profunda. En los casos en los que la contribución de la estructura en la absorción de la energía de atraque sea significativa, es recomendable realizar pruebas “in situ” de tiro horizontal con el objeto de confirmar las estimaciones realizadas por métodos analíticos y disponer de una estimación más precisa de su deformabilidad (Ver ROM 0.5-05).

En el caso particular de una de las estructuras de atraque flexibles (obras con alta capacidad de absorción energética en el dominio admisible) más comunes, formadas por pilotes aislados o grupos de pilotes (p.e. en configuraciones físicas de obra de atraque tipo duque de alba), en condiciones alejadas de la situación de rotura horizontal del terreno y de la estructura (dominio en el que la deformación es recuperable) es admisible simplificar su curva de comportamiento considerando que la relación entre fuerza de impacto y la deformación horizontal en el punto de impacto es básicamente lineal (Ver figura 4.6.4.22). Es decir:

$$Q_{v,42|T} = k_e \cdot \delta_{fc}$$

En este caso la relación entre la energía absorbida por la estructura y la deformación de la misma en el momento del impacto será:

$$E_{f,estructura} = \frac{1}{2} \cdot Q_{v,42|T} \cdot \delta_{fc|impacto} = \frac{1}{2} \cdot k_e \cdot (\delta_{fc|impacto})^2$$

Siendo:

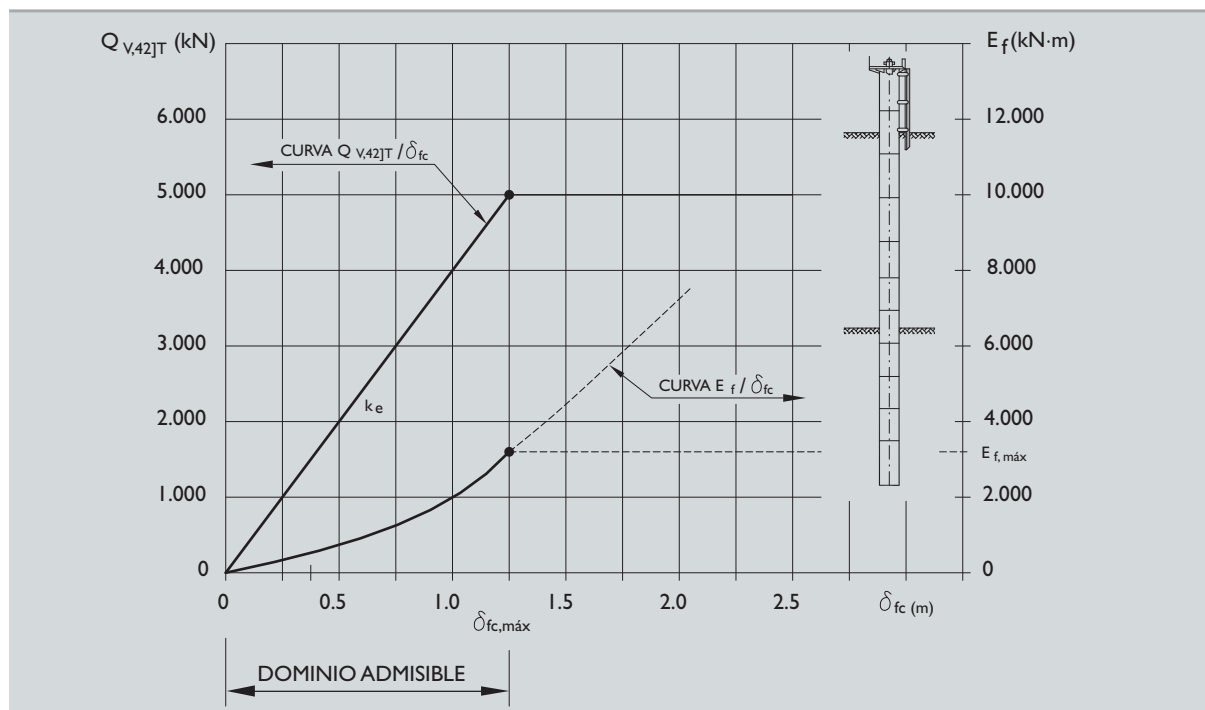
$\delta_{fc|impacto}$  : la deformación horizontal de la estructura en el momento del impacto en el punto de aplicación de la fuerza de impacto.

$k_e$  : Una constante con unidades fuerza/deformación que cuantifica el grado de rigidez del conjunto suelo-estructura frente a acciones horizontales aplicadas en el punto de impacto considerado (coeficiente de reacción).

Este tipo de estructuras puede llegar a tener una gran capacidad de absorción de energía en el dominio admisible, dependiendo de las características resistentes y de deformación del terreno, de las dimensiones geométricas de la estructura y de las propiedades del material constitutivo de la misma (madera, acero, hormigón pretensado, plásticos reforzados, termoplásticos, ...) (77).

(77) Como orden de magnitud, una estructura monopilote con 18-20 m de longitud no enterrada, cimentada en un suelo limoso de consistencia media, construida con aceros de grano fino S 460 y con sección tubular de 2 m de diámetro exterior y 50 mm de espesor, puede tener una capacidad máxima de absorción de energía en el dominio admisible del orden de 2500 kNm.

**Figura 4.6.4.22. Ejemplo de curva de comportamiento característica de una estructura como elemento de un sistema de atraque (Duque de Alba monopilote)**



En general, tanto para formulaciones deterministas o semi-probabilistas como probabilistas puede aceptarse simplifcadamente en general que la variabilidad o rango de variación de las curvas de comportamiento de las estructuras como elementos del sistema de atraque no es significativo a los efectos de la determinación de las fuerzas de impacto y, por tanto que estas curvas pueden definirse únicamente a través de dos valores característicos o nominales para cada condición de trabajo o ciclo de sollicitación, asociados con los valores representativos del nivel superior y del nivel inferior de las aguas exteriores en dicha condición de trabajo. Las curvas de comportamiento características se considerarán asociadas con los valores característicos o nominales de los parámetros geométricos, de las propiedades de los materiales y de las propiedades del terreno <sup>(78)</sup>. Dado que las acciones de atraque son acciones impulsivas de duración ( $< 0.01$  s) muy corta (Ver figura 4.6.4.6), la determinación de las curvas de comportamiento se realizará para la mayoría de suelos, tanto cohesivos como granulares, considerando las propiedades del terreno en condiciones dinámicas no drenadas. Lo anterior se establece sin perjuicio de la comprobación específica del comportamiento del terreno frente a estas acciones en el caso de suelos granulares limpios en función de las propiedades concretas del suelo en el emplazamiento (Para la consideración de comportamiento drenado o no drenado del suelo frente a la actuación de cargas impulsivas, ver apartados 2.2.7 y 3.10.1 de la ROM 0.5-05). En el caso de que la variabilidad de alguna de las propiedades del terreno en el emplazamiento se considere significativa a estos efectos, podrá considerarse que el modelo de probabilidad de las curvas de comportamiento de la estructura puede obtenerse como derivado del correspondiente a dicha propiedad. De igual forma si los efectos de la variabilidad de las aguas exteriores en las curvas de comportamiento fuera significativo, para la determinación del modelo de probabilidad de las mismas se tomará en consideración las funciones de distribución del nivel superior e inferior de las aguas exteriores.

En cada ciclo de sollicitación y en los estados representativos de los mismos, las propiedades de las estructuras, como elementos del sistema de atraque, definidas a través de las curvas de comportamiento características se considerarán, salvo los casos específicamente indicados, de carácter permanente.

(78) Los criterios para la definición de los valores característicos o nominales de los parámetros geométricos y de las propiedades de los materiales se incluyen, respectivamente, en los apartados 4.2. y 4.4. de esta Recomendación. En el caso de las propiedades del terreno, ver el apartado 4.3. de esta Recomendación y la ROM 0.5-05.

#### 4.6.4.4.3.1.4. Definición de la fuerza de rozamiento ( $Q_{v,42|L}$ )

La fuerza de rozamiento es la componente tangencial de las acciones de atraque, aplicada en la superficie de contacto entre el casco del buque y el sistema de atraque. Es debida a los movimientos que se producen entre el buque y el sistema de atraque mientras éste se encuentra en situación de deformación, causados por la oblicuidad del impacto y por la geometría del casco del buque y del sistema de atraque en la zona de contacto, conjuntamente con los movimientos del buque durante la maniobra de atraque.

La fuerza de rozamiento se considerará de actuación simultánea con la fuerza de impacto y dependiente de la misma. Su dirección y sentido de actuación pueden ser cualesquiera en el plano de actuación. El plano de actuación vendrá definido por la tipología de sistema de atraque y por los ángulos de compresión horizontal y vertical asociados al escenario de atraque (tipo de buque, posición del punto de contacto, distancia entre defensas y ángulo de aproximación del buque al atraque. Ver epígrafe a<sub>11</sub> del apartado 4.6.4.4.3.1.3) que ha dado lugar a la energía de atraque considerada y que se han tomado en consideración para la determinación de la fuerza de impacto (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.3). Se adoptará la dirección y sentido más desfavorables para el elemento estructural y el modo de fallo analizados, aunque en general será suficiente considerar que actúa bien en dirección horizontal ( $Q_{v,42|LH}$ ) o bien perpendicularmente ( $Q_{v,42|LV}$ ) a dicha dirección (Ver figura 4.6.4.23). El valor representativo y, en su caso, la función de distribución de la magnitud de esta fuerza se derivará de los correspondientes definidos para la fuerza de impacto por medio de la siguiente formulación:

$$Q_{v,42|L} = \mu_f \cdot Q_{v,42|T}$$

siendo:

$\mu_f$  : coeficiente de fricción entre el casco del buque y el sistema de atraque en la zona de contacto. Este parámetro se considerará de carácter permanente en las condiciones de trabajo en las que se consideren cargas de atraque y se definirá a través de un valor nominal, función del tipo de revestimiento del sistema de atraque, tanto si las ecuaciones de verificación se escriben en formato determinista o determinista-probabilista como en el probabilista.

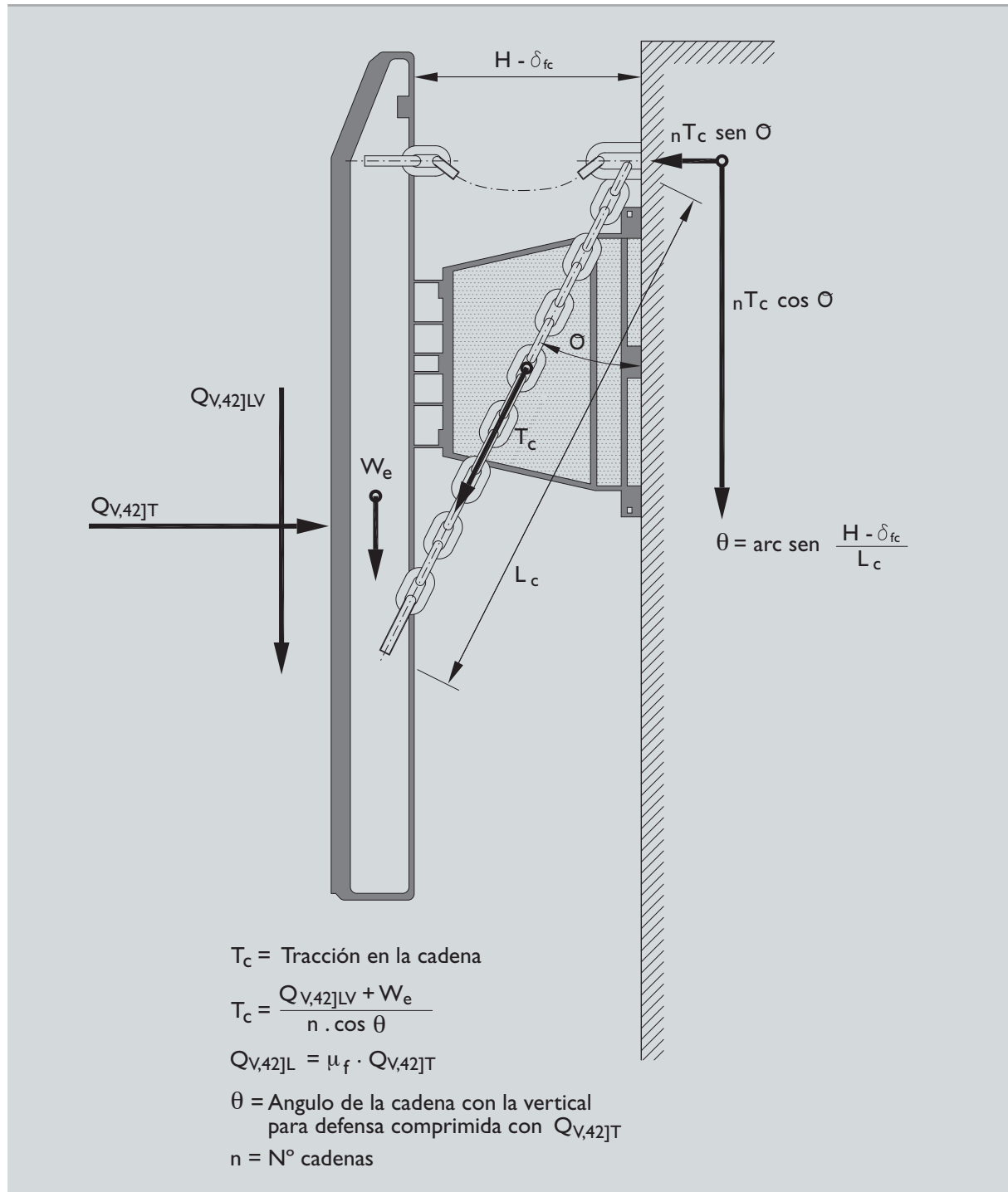
En ausencia de estudios específicos o información más detallada suministrada por los fabricantes de defensas, se adoptarán como valores nominales para el coeficiente de fricción los dados en la tabla 4.6.4.4I en función del material de revestimiento y de la situación que se prevea en la zona de contacto del sistema de atraque con el buque en las condiciones de trabajo consideradas, considerando casco del buque de acero. Dicho material deberá estar asociado o ser coherente con las características definidas para el sistema de atraque y en particular con el sistema de defensas adoptado para la definición de las fuerzas de impacto. Los valores incluidos en la tabla se considerarán asociados con valores medios.

La fuerza de rozamiento inducirá solicitaciones y deformaciones de corte en el sistema de atraque cuya magnitud debe mantenerse dentro de límites aceptables para impedir que, para las distintas posiciones que pueda tomar el área de impacto en el casco del buque, el contacto directo del mismo con la estructura resistente o con el equipamiento localizado en la obra de atraque. Por tanto, entre los criterios para la elección del sistema de atraque también debe tomarse en consideración este aspecto (Ver apartado 4.6.4.4.3.2). Especialmente cuando el sistema de atraque incorpore defensas, el proyectista deberá comprobar o el fabricante deberá garantizar que éstas son capaces de resistir y transmitir a la estructura resistente, con pequeñas deformaciones, los esfuerzos de corte longitudinales y transversales que pueden generarse, conjuntamente, en su caso, con los debidos al peso propio del panel frontal o escudo <sup>(79)</sup>. En aquellos casos en los que el sistema de defensas por sí mismo tenga una escasa capacidad de resistir y transmitir esfuerzos cortantes, suelen incorporarse elementos estructu-

(79) Como órdenes indicativos de magnitud, el peso propio de los paneles frontales o escudos suele oscilar entre 2 kN/m<sup>2</sup> para los escudos menos robustos y más de 4 kN/m<sup>2</sup> para los más robustos. No obstante, las variaciones pueden ser significativas por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido.

rales auxiliares (cadenas, ...) que, permitiendo la compresión no uniforme de las defensas asociada al escenario de atraque, sean capaces de limitar estas deformaciones y transmitir los esfuerzos de corte a la estructura resistente (Ver figura 4.6.4.23). Las fuerzas de rozamiento suelen ser las predominantes para la verificación de dichos elementos auxiliares.

**Figura 4.6.4.23. Definición de la componente de rozamiento de las acciones de atraque a partir de la fuerza de impacto. Transmisión a la estructura resistente a través de elementos auxiliares**



**Tabla 4.6.4.41. Valores nominales usuales del coeficiente de fricción entre el casco del buque y su sistema de atraque ( $\mu_f$ )**

MATERIAL DE REVESTIMIENTO SISTEMA DE ATRAQUE	$\mu_f$
Sin revestimiento, metal sobre hormigón (en seco)	0,50
Sin revestimiento, metal sobre metal (en seco)	0,30
Madera (en seco)	0,40
Caucho (en seco)	0,70
Poliuretano (en seco)	0,40
Nylon (en seco)	0,20
Polietileno (HD-PE) de alta densidad (en seco)	0,30
Polietileno (UHMW-PE) con ultra alto peso molecular (en seco)	0,20
Polietileno (UHMW-PE) con ultra alto peso molecular (mojado)	0,15
<b>Notas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los coeficientes incluidos en esta tabla se corresponden con valores usuales medios, considerando que se produce el contacto entre superficies regulares; es decir sin cintones o burletes u otros tipo de protuberancias bien en el buque bien en el sistema de atraque. Por tanto, los coeficientes de la tabla no serán aplicables a estos últimos casos, en los que deben adoptarse valores significativamente mayores. El coeficiente de fricción puede variar respecto a los valores medios, entre otras, por las siguientes causas: situación seca o mojada, temperatura, rugosidad superficial y carácter estático o dinámico de la acción. En general, salvo cuando se señala expresamente en la tabla, no se considera relevante esta variación a los efectos de definir la fuerza de rozamiento tanto para el caso de acciones de atraque como de amarre.</li> <li>Sin perjuicio de lo anterior, en el caso de que el contacto buque/sistema de atraque se realice por medio de una defensa, es recomendable utilizar el coeficiente de fricción suministrado directamente por el fabricante para el tipo de defensa y, en su caso, para el escudo adoptado, para la situación en que se encuentra en las condiciones de trabajo consideradas.</li> </ul>	

#### 4.6.4.4.3.2. Criterios para la elección del tipo y características del sistema de atraque

Sin perjuicio de las comprobaciones complementarias a realizar en las condiciones de trabajo en las que se consideren cargas de amarre<sup>(80)</sup> (Ver apartado 4.6.4.4.7.) o impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque (Ver apartados 4.6.4.4.4), en las condiciones de trabajo en las que se considere la actuación de cargas de atraque el sistema de atraque deberá cumplir los siguientes requisitos mínimos:

##### a) Criterios asociados a la condición de no fallo del sistema de atraque

Para formulaciones deterministas o determinista-probabilista, para cada buque y situación de carga del mismo, la parte correspondiente del valor representativo de la energía de atraque en cada condición de trabajo absorbida por cada uno de los elementos que forma parte del sistema de atraque (sistema de defensas + estructura de atraque) no debe exceder la capacidad de absorción de energía de cada uno de estos elementos en el dominio admisible, definida por medio de los valores característicos de sus curvas de comportamiento para dicha condición de trabajo, para el nivel inferior y superior de compatibilidad de las aguas exteriores considerando el estado meteorológico asociado con el valor representativo de la energía de atraque (Ver epígrafe  $a_1$  del apartado 4.6.4.3.1.3)<sup>(81)</sup>. Asimismo deberá cumplirse que la parte correspondiente de 2 veces el valor representativo de la energía de atraque en cada condición de trabajo absorbida por cada uno de los elementos que forma parte del sistema de atraque no excede la capacidad de absorción de energía de cada uno de ellos en el dominio último.

(80) En general, las acciones de atraque o las asociadas al impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque son las que gobiernan la selección y características de los diferentes elementos que conforman el sistema de atraque. No obstante, en aquellas instalaciones de atraque en que las condiciones climáticas límite de permanencia de buque en el atraque que se consideren sean muy severas o no se consideren condiciones límite de permanencia del buque en el atraque para algún agente pueden ser las acciones de amarre las que condicionen la selección de los elementos del sistema de atraque.

(81) El nivel de las aguas exteriores puede dar lugar a diferentes compresiones no uniformes, modificando el valor característico de las curvas de comportamiento.

Para formulaciones probabilistas, deberá cumplirse que la probabilidad de que, en cada condición de trabajo, las cargas de atraque en cada uno de dichos elementos excedan el dominio último, definido por medio de los valores característicos de sus curvas de comportamiento asociados a los niveles superiores e inferiores de las aguas exteriores (o en su caso de las funciones de distribución de dichas curvas), es menor de  $10^{-4}$  (criterio incondicional de no fallo para estados límite últimos), así como de que las cargas de atraque excedan el dominio admisible es menor de 0.05 (criterio incondicional de no fallo para estados límite de servicio).

Asimismo deberá verificarse que los elementos que conforman el sistema de atraque no fallan debido a los esfuerzos de corte longitudinales y transversales debidos a la componente de rozamiento de las cargas de atraque (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.4).

No obstante lo anterior, cuando se considere la actuación de cargas de atraque en condiciones de trabajo extremas y excepcionales puede admitirse que la defensa puede agotar su capacidad de absorción de energía en dichas condiciones de trabajo, siempre que la estructura resistente cumpla la condiciones de no fallo anteriormente establecidas <sup>(82)</sup>.

#### **b) Criterios asociados a la condición de no fallo de la estructura del buque**

Deberá cumplirse que las cargas y presiones de contacto ejercidas sobre el casco del buque deben mantenerse, en niveles que no produzcan daños o deformaciones permanentes en la estructura del buque. Para ello, en el caso de que se consideren formulaciones deterministas o determinista-probabilistas, deberá comprobarse, que, en cada una de las condiciones de trabajo o ciclos de sollicitación en los que se considere la actuación de cargas de atraque, las cargas y presiones asociadas a 1,5 veces el valor representativo de la energía de atraque correspondiente a cada tipo y condición de carga de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, tanto para los niveles superiores como los inferiores de las aguas exteriores, se encuentran en valores admisibles.

Las cargas y presiones de contacto admisibles dependen fundamentalmente del espesor del casco del buque y de la separación entre cuadernas en la zona de contacto y, por tanto, pueden diferir de forma importante en función del tipo y tamaño del buque, del astillero y del año de su construcción. La tendencia actual en la construcción de buques es que las nuevas generaciones admitan progresivamente menores cargas y presiones sobre el casco. A falta de datos concretos sobre las máximas presiones y cargas admisibles sobre el casco de los buques correspondientes a la flota esperable en el atraque, podrán utilizarse con carácter general las incluidas en la tabla 4.6.4.42.

En el caso de que se consideren formulaciones probabilistas, deberá comprobarse de que la probabilidad de que las cargas y presiones de contacto ejercidas sobre el casco de los buques en condiciones normales operativas, tanto para los niveles superiores como inferiores de las aguas exteriores, supere las presiones admisibles es menor de  $10^{-4}$ .

El área de contacto casco del buque/sistema de atraque dependerá de la geometría del casco del buque en la zona de contacto, de la posición relativa del mismo respecto al sistema de atraque en función del nivel superior e inferior de las aguas exteriores y de la oblicuidad del atraque en cada condición de trabajo, así como del tipo y características del sistema de atraque. En el caso de que el contacto se realice a través de defensas neumáticas, hidroneumáticas y rellenas de espuma, los fabricantes suministran directamente las presiones de contacto y, por tanto, indirectamente el área de contacto asociada con cada nivel energético. En el caso de que el contacto se realice a través de defensas elastoméricas aisladas, el área de contacto dependerá de la dimensiones y posición de la defensa o, en su caso, del panel frontal o escudo, así como de la zona o zonas de los mismos que tengan contacto efectivo con el casco del buque

(82) Si la defensa agota su capacidad de absorción de energía, la estructura seguirá absorbiéndola, comportándose a partir de este momento como si la defensa no existiera.

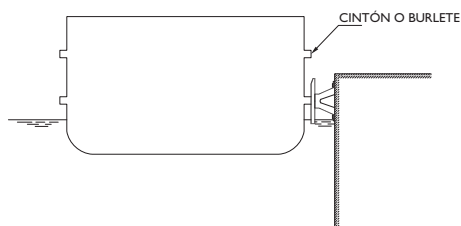
(contacto completo, impacto excéntrico o doble impacto) en cada situación (Ver figura 4.6.4.24). En el caso de que se utilice una defensa elastomérica continua o una estructura sin defensas también continua, a falta de información más precisa se adoptará para el caso de contacto completo que la fuerza de impacto se reparte en un área rectangular cuya dimensión longitudinal coincide con la longitud de con-

**Tabla 4.6.4.42. Órdenes de magnitud de los valores máximos admisibles de las presiones sobre el casco de los buques**

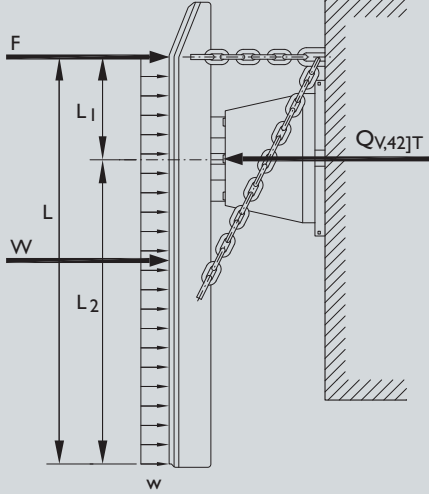
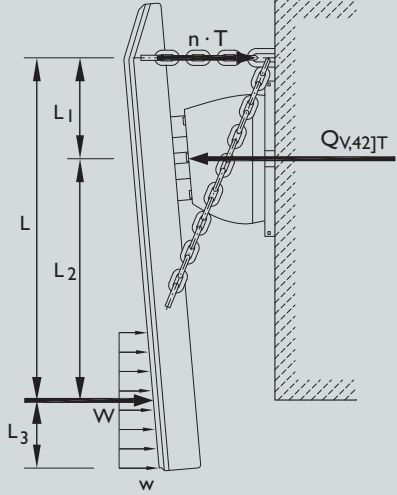
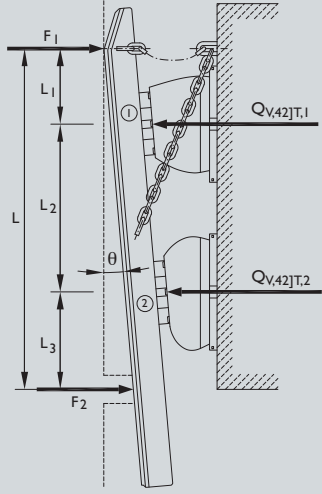
TIPO DE BUQUE		MÁXIMA PRESIÓN ADMISIBLE (kN/m <sup>2</sup> ) <sup>1)</sup>
Petroleros y transportadores de productos petrolíferos o químicos	SUPERTANKER, ULCC y VLCC	150
	SUEZMAX como AFRAMAX	350
	PANAMAX y PRODUCT CARRIER	300
GASEROS		200
GRANELEROS		200
Mercantes de Carga General	HANDYMAX	400
	SEAWAYMAX	500
Portacontenedores	MALACCAMAX y SUEZMAX	200
	SUPER-POST PANAMAX	250
	PANAMAX	300
	FEEDER	400
TRANSPORTADORES DE COCHES		2)
RO-RO		2)
FERRIES		2) 3)
CRUCEROS		2)

#### Notas

- 1) Los valores de las máximas presiones admisibles incluidos en esta tabla incluyen los factores de minoración comúnmente utilizados por las Sociedades de Clasificación; es decir, pueden considerarse presiones de cálculo, en terminología de las formulaciones deterministas o semi-probabilistas, asociadas a la condición de no fallo. Pueden considerarse aplicables independientemente de la zona de contacto, con las excepciones que se señalan específicamente.
- 2) Todos los buques, pero particularmente los transportadores de coches, los buques ro-ro, los ferries, los cruceros, los pesqueros, las barcas y algunos buques auxiliares de pequeño desplazamiento pueden estar dotados de una o varias alineaciones de cintones o burletes perimetrales localizados a diferentes alturas del casco del buque. Dichos cintones suelen ser de sección rectangular trapezoidal o circular, sobresaliendo del casco del buque entre 20-40 cm (Ver figura). En estos casos, la comprobación de las presiones de contacto ejercidas sobre el casco del buque por los sistemas de atraque no es relevante siendo, por el contrario, necesario comprobar que las cargas lineales debidas a los cintones son admisibles tanto para el buque como para el sistema de atraque. En mares con marea, los cintones pueden dar lugar a problemas por enganche del mismo en la defensa cuya solución debe preverse en la fase de proyecto. En el caso de defensas cilíndricas con tablero una solución puede ser abiselar el escudo en sus extremos superior e inferior. Las máximas cargas admisibles para burletes suele estar en el rango 1000 -1500 kN/m en buques con casco de acero y entre 150 y 300 kN/m en buques con casco de aluminio. En el caso de que estos tipos de buques no estén dotados de cintones o burletes, se podrá tomar simplificada mente, del lado de la seguridad, como máxima presión admisible sobre el casco (expresada en kN/m<sup>2</sup>) aquella que es igual a 10 veces el calado del buque a plena carga (expresado en m).
- 3) Algunos ferris rápidos como los catamaranes, particularmente si tienen el casco de aluminio, no admiten ningún tipo de impactos directos en las zonas inferiores del casco. En estos casos, salvo que dispongan de cintones o burletes especialmente diseñados, deberá asegurarse que la zona de aplicación de las fuerzas de impacto se encuentra en zonas elevadas del casco, independientemente del nivel de las aguas exteriores.



**Figura 4.6.4.24. Definición de cargas (F) y presiones de contacto (w) entre el sistema de defensas y el casco del buque en el caso de defensas elastoméricas aisladas**

A. CONTACTO COMPLETO	
	$Q_{v,42]T} = f(E_{f,defensa})$ $W + F = w \cdot L \cdot b + F = Q_{v,42]T}$ $w = \frac{2 \cdot Q_{v,42]T} \cdot L_1}{L^2 \cdot b}$ $F = \frac{2 \cdot Q_{v,42]T}}{L} \cdot \left[ \frac{L}{2} - L_1 \right]$ <p>Siendo b el ancho del panel frontal o escudo</p>
B. IMPACTO EXCÉNTRICO	
	$Q_{v,42]T} = f(E_{f,defensa})$ $W + n \cdot T = 2 \cdot w \cdot L_3 \cdot b + n \cdot T = Q_{v,42]T}$ $w = \frac{W}{2 \cdot L_3 \cdot b} = \frac{Q_{v,42]T} \cdot L_1}{2 \cdot L \cdot L_3 \cdot b}$ $T = \frac{Q_{v,42]T} \cdot L_2}{n \cdot L}$ <p>Siendo b el ancho del panel frontal o escudo</p>
C. DOBLE IMPACTO	
	$\delta_{fc,2} = \delta_{fc,1} + L_2 \cdot \tan \theta$ $Q_{v,42]T,1} = f''(\delta_{fc,1}) = f'(E_{f,defensa1})$ $Q_{v,42]T,2} = f''(\delta_{fc,2}) = f'(E_{f,defensa2})$ $Q_{v,42]T,1} + Q_{v,42]T,2} = f(E_{f,defensa})$ $F_1 + F_2 = Q_{v,42]T,1} + Q_{v,42]T,2}$ $F_1 = \frac{[Q_{v,42]T,1} \cdot (L_2 + L_3)] + [Q_{v,42]T,2} \cdot L_3]}{L}$ $F_2 = \frac{[Q_{v,42]T,1} \cdot L_1] + [Q_{v,42]T,2} \cdot (L_1 + L_2)]}{L}$



tacto buque-sistema de atraque ( $l_c$ ) y la transversal con la altura de contacto efectivo de la defensa o estructura con el casco del buque. A falta de otros datos, para estos últimos casos dicha dimensión longitudinal podrá aproximarse a:

- ◆ Cuando el punto de contacto se produce en el tramo recto del casco de los buques:
  - $l_c = 0.25L \leq 6 \text{ m}$  para buques  $\leq 10.000 \text{ TPM}$
  - $l_c = 12.5 \text{ m}$  para buques  $> 10.000 \text{ TPM}$
- ◆ Cuando el punto de contacto se produce en la parte curva del casco de los buques:
  - $l_c = 2 \cdot R_b \cdot \text{sen} \theta$   
siendo:  
 $R_b$  : radio de curvatura del casco del buque en planta en el área en la que se produce el impacto (ver Nota 25).  
 $\theta$  : ángulo horizontal de contacto entre el casco del buque y el sistema de atraque. Simplificadamente puede considerarse que este ángulo es prácticamente coincidente con el ángulo de aproximación del buque al atraque ( $\alpha$ ).

En ningún caso se considerarán áreas de contacto superiores a  $5 \text{ m}^2$ .

En cualquier caso deberá verificarse la compatibilidad geométrica y resistente del sistema de defensas para adaptarse a la superficie de contacto con el casco de los buques de la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos, comprobándose que la defensa y sus elementos auxiliares (cadenas, pernos y demás elementos de sujeción), en cada una de las condiciones de trabajo considerando los niveles superior e inferior de las aguas exteriores, no están sometidos a deformaciones y esfuerzos incompatibles con la configuración del sistema de defensas.

### c) Criterios asociados a las deformaciones del sistema de atraque

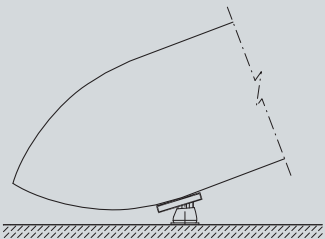
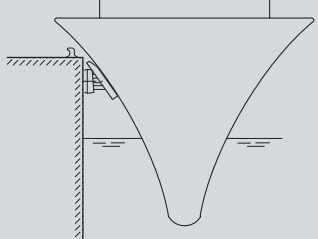
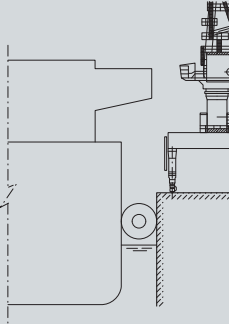
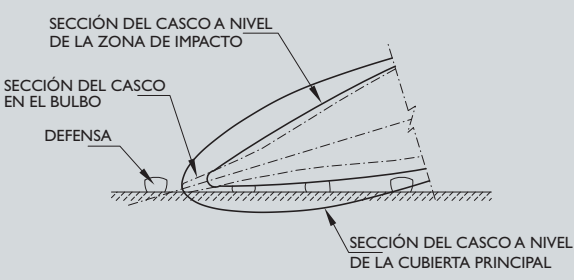
Las deformaciones del sistema de atraque en el momento del impacto, teniendo en cuenta la posibilidad de deformaciones no uniformes del mismo debido a compresiones angulares horizontales y verticales, deben mantenerse en niveles que, para las distintas posiciones que puede tomar el área de impacto en el casco del buque, impidan el contacto directo de otras partes del casco ajenas a dicha área (bulbos, ...) o de la superestructura del buque (puente, ...) con la estructura resistente, con la superestructura o con el equipamiento localizado en la obra de atraque (bolardos, brazos de carga/descarga, grúas, ...), considerando que éste, en su caso, se encuentra en situación de fuera de servicio y configuración replegada.

Estos efectos deben ser particularmente verificados cuando el área de impacto se produce en la parte curva de los buques (en proa o popa) o en aquellos tipos de buques que, independientemente de la localización del área de impacto, tienen cascos con formas en alzado muy angulosas (portacontenedores, ro-ro, transportadores de coches, ferries y cruceros), puentes con grandes voladizos (ro-ro y cruceros) o bulbos en proa (portacontenedores), especialmente cuando el ángulo de aproximación al atraque es elevado (Ver figura 4.6.4.25).

Por otra parte, por razones de control operacional del buque durante la maniobra de atraque, es recomendable que la máxima deformación del sistema de atraque en el momento del impacto, medida perpendicularmente a la línea de atraque y en el centro geométrico del mismo, esté limitada a un máximo de  $1,50 \text{ m}$ .

Para atraque lateral mediante translación transversal o longitudinal predominante a obras de atraque continuas en los que el área de impacto se produce en las proximidades de la proa o popa del buque, la curvatura del casco en estas zonas o la existencia de bulbos en proa puede hacer necesarias defensas que una vez comprimidas mantengan grandes espacios libres entre el casco del buque y la estructura con el objeto de impedir que pueda producirse el contacto de la estructura con otras partes del casco, particularmente cuando el ángulo de aproximación al atraque es significativo.

**Figura 4.6.4.25. Ejemplos de aspectos que condicionan la máxima deformación admisible del sistema de atraque en el momento del impacto**

IMPACTO EN LA ZONA CURVA DEL CASCO	FORMAS DEL CASCO ANGULOSAS EN ALZADOS
	
PUENTES CON GRANDES VOLADIZOS	BULBOS EN LA PROA
	

En algunos casos, el tipo de defensas necesario debido a estos efectos es inviable, no está disponible en el mercado, condiciona enormemente las dimensiones de los equipos de manipulación de mercancías y de embarque y desembarque de pasajeros (p.e. necesidad de mayores alcances en las grúas, en las pasarelas de embarque, ... ) o es incompatible con las dimensiones de las rampas o portalones de los buques. En lo que depende de la curvatura del casco del buque en planta, estos aspectos pueden resolverse utilizando defensas que mantengan menores espacios libres entre el casco del buque y la estructura de atraque en el momento del impacto que los obtenidos tomando en consideración los aspectos señalados, siempre que, en el caso de defensas continuas, tengan una longitud mínima igual a la longitud de contacto buque/defensa (Ver definiciones de  $l_c$  en este subapartado) o, en el caso de defensas aisladas, se dispongan con espaciamientos ( $l_f$ ) inferiores a (Ver figura 4.6.4.26):

$$l_f \leq 2\sqrt{R_b^2 - (R_b - h + C)^2}$$

siendo:

$l_f$  : distancia entre defensas aisladas.

$R_b$  : radio de curvatura del casco del buque en planta, en el área en la que se produce el impacto (Para la definición de  $R_b$ , ver nota 25).

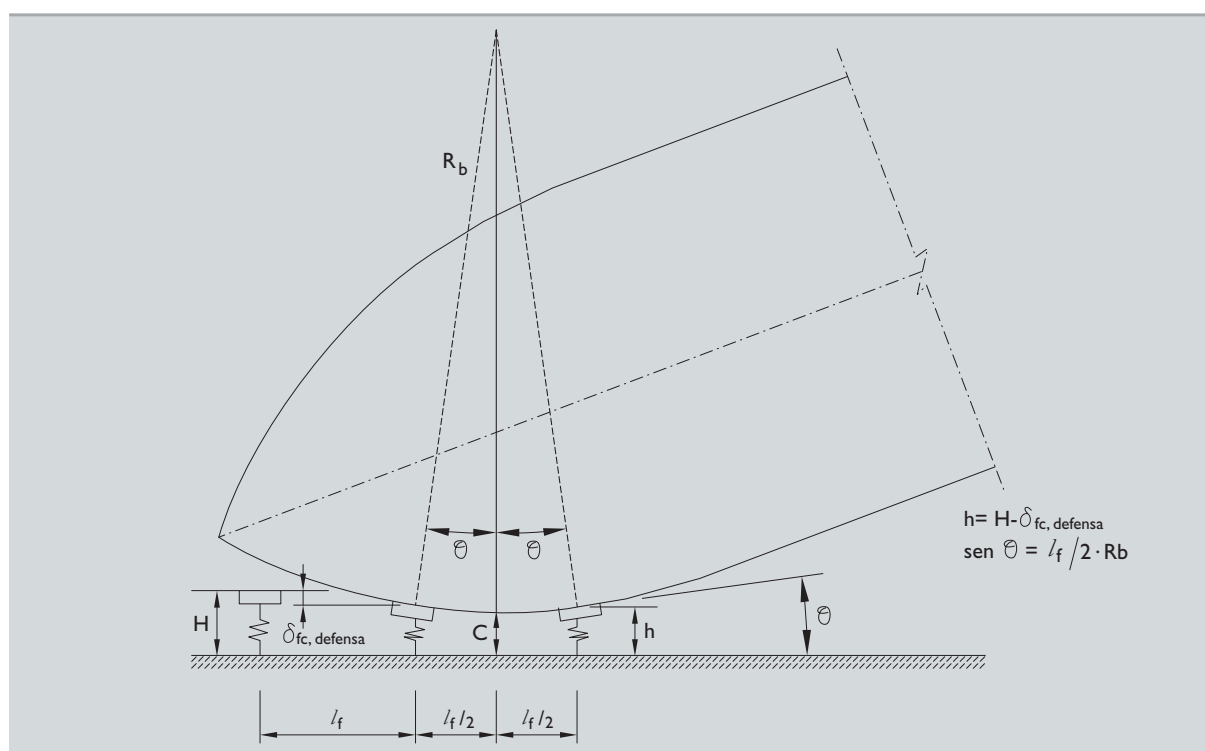
$h$  : espacio libre entre el casco del buque y la estructura de atraque cuando la defensa está comprimida en el momento del impacto, medida en el centro de la defensa y perpendicularmente a la línea de atraque, considerando el valor de la energía de atraque correspondiente al buque y el escenario de atraque (punto de impacto, ángulo de aproximación, ...) asociado con la misma ( $h = H \cdot \delta_{fc, \text{defensa}}$ ) <sup>(83)</sup>.

(83) Como puede observarse, para la determinación del espaciamiento máximo entre defensas,  $h$  se define considerando del lado de la seguridad que toda la energía de atraque es absorbida por una única defensa.

$C$  : mínima distancia libre admisible entre el casco del buque y la estructura de atraque a la altura del área de contacto en el momento del impacto, medida perpendicularmente a la línea de atraque. Para definir el valor de  $C$  deberá tomarse en consideración la sección transversal del buque y la presencia de bulbos de proa con el objeto de garantizar que no se produce contacto buque-estructura. En ausencia de mejor criterio, se recomienda adoptar como mínimo un valor de  $C$  igual al 15% de las dimensiones horizontales de la defensa sin comprimir ( $0,15H$ ) y no menor de 0,30 m.

Para buques con eslora igual o superior a 25 m, independientemente del valor de  $l_f$  obtenido mediante la formulación anterior asociado con cada tipo de defensa, se recomienda que la distancia entre defensas aisladas en sistemas de atraque continuos no exceda de  $0,15-0,17L$ , siendo  $L$  la menor eslora de los buques de la flota esperable en el atraque, ni de 12-17 m. En el caso de defensas aisladas en sistemas de atraque discontinuos el valor de  $l_f$  estará en el rango  $0,25-0,40L$ , para todos los buques de la flota esperable en el atraque, siendo  $L$  la eslora de cada uno de dichos buques.

**Figura 4.6.4.26. Definición de parámetros para obtener el espaciamiento máximo entre defensas aisladas en un sistema de atraque continuo por razones de la curvatura del buque en planta en el área de impacto**



Cuando se consideren formulaciones deterministas o determinista-probabilista, las anteriores comprobaciones asociadas a las deformaciones del sistema de atraque deberán realizarse para cada tipo, tamaño y condición de carga de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, en todas condiciones de trabajo en las que actúen cargas de atraque, considerando el valor representativo de la energía de atraque correspondiente a cada uno de ellos en dichas condiciones de trabajo (Ver apartado 4.6.4.4.3.1) y el escenario de atraque (punto de impacto, ángulo de aproximación, ...) asociado con la misma, tanto para el valor representativo compatible del nivel superior como inferior de las aguas exteriores que le corresponda.

Cuando se consideren formulaciones probabilistas deberá verificarse que la probabilidad de que se produzca contacto directo del buque con la estructura resistente, la superestructura, o con el equipamien-

to, en cada una de las condiciones de trabajo o ciclos de sollicitación en los que se presenten cargas de atraque, es menor de 0,05 (condición incondicional de no fallo para estados límite de servicio), tanto para los niveles superiores como inferiores de las aguas exteriores.

**d) Criterios asociados a la sensibilidad de la estructura resistente frente a la magnitud de las cargas de impacto**

Las características del sistema de atraque deben ser adecuadas a la sensibilidad de la estructura resistente con respecto a la magnitud de las fuerzas de impacto transmitidas a la misma. Por tanto, los sistemas de atraque que transmiten menores fuerzas de impacto para la misma energía de atraque son especialmente recomendables para obras de atraque fijas abiertas (obras de pilotes, de pilas, ...) o con configuraciones físicas de tipo mixto o duque de alba, así como para las obras de atraque flotantes, en las que la magnitud de las fuerzas de impacto son especialmente relevantes para su dimensionamiento. Por el contrario, las obras de atraque fijas cerradas, particularmente las de gravedad, son menos sensibles a la magnitud de las fuerzas de impacto, por lo que admiten a estos efectos un mayor rango de opciones en la selección del sistema de atraque.

**e) Criterios asociados a la composición y características de la flota de buques esperable en el atraque**

Las características del sistema de atraque deben ser adecuadas a la composición y características de la flota de buque esperable en el atraque. En este sentido, cuando la flota de buques esperable en el atraque esté formada por un amplio abanico de buques de tipos y características muy diferentes es preferible seleccionar sistemas de atraque que tengan curvas de comportamiento que se adapten a los requerimientos de capacidad de absorción de energía, a las máximas presiones admisibles sobre el casco y a las limitaciones de deformación del sistema de atraque para todos los buques, de acuerdo con lo señalado en los epígrafes a), b) y c) de este apartado.

En general, los sistemas de atraque con curvas de comportamiento exponenciales o lineales a lo largo de todo su dominio admisible se adaptan mejor a flotas heterogéneas, al tener mayor capacidad de absorción de los distintos niveles energéticos que se presentan, dando lugar a fuerzas de impacto progresivas y significativamente menores que la fuerza máxima asociada a la máxima deformación admisible. A su vez, por su propia naturaleza y características de deformación, algunos de estos sistemas de atraque (p.e. con defensas cilíndricas, neumáticas y rellenas de espuma) presentan simultáneamente grandes superficies de contacto con el casco del buque, independientemente de la forma del mismo, sin necesidad de disponer de escudos o paneles intermedios adaptados a todos los buques de la flota, por lo que conjuntamente con el menor valor de las fuerzas de impacto suelen dar lugar a reducidas presiones de contacto que se adaptan bien a todo tipo de buques.

Por el contrario, en sistemas de atraque también con este tipo de curvas de comportamiento pero en los que la capacidad de absorción de energía se reserva básicamente a la estructura resistente (p.e. duques de alba flexibles), pueden presentarse áreas de contacto muy reducidas cuando es la estructura resistente la que está directamente en contacto con el casco del buque. En estos casos, con el objeto de aumentar las áreas de contacto y reducir, por tanto, las presiones admisibles sobre el buque, es recomendable disponer complementariamente defensas que actúen como elementos protectores de superficies, aunque se utilicen tipologías con reducida capacidad de absorción de energía en el nivel energético resultante.

Los sistemas de atraque con curvas de comportamiento lineal hasta un nivel de deformación, a partir del cual se mantiene constante la fuerza de impacto hasta el desplazamiento maximal (p.e. con defensas elastoméricas solicitadas a compresión axial) son más recomendables particularmente cuando la flota esperable en el atraque sea de características relativamente homogéneas, al no ser relevante en estos casos que el sistema de atraque tenga una alta capacidad de absorción de energía en distintos niveles energéticos.

**f) Criterios asociados al rango de variación de las aguas exteriores**

El sistema de atraque debe cumplir los requisitos establecidos en los epígrafes a), b) y c) de este apartado para todos los buques y condiciones de carga pertenecientes a la flota esperable en el atraque, en cada una de las condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las maniobras de atraque, así como, en su caso, en cada una de las condiciones extremas y excepcionales en las que se considera que pueden realizarse dichas maniobras, tanto para los niveles superiores como inferiores de las aguas exteriores debidos a todas las oscilaciones marinas y fluviales (mareas y regímenes fluviales, ondas largas y oleaje).

Sin perjuicio de las anteriores verificaciones, es recomendable que la altura de las defensas, bien directamente bien a través de paneles frontales o escudos, cubra como mínimo desde el nivel superior de las aguas exteriores hasta 0,5 m por debajo del nivel de la cubierta principal de cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, en las condiciones límite de carga establecidas, considerando el nivel inferior de las aguas exteriores, para los valores representativos de los niveles superior e inferior de las aguas en cada uno de los estados meteorológicos representativos de las condiciones de trabajo consideradas.

En lo que respecta al rango de variación de las aguas exteriores, los sistemas de atraque con defensas flotantes son mucho más adaptables a las características de la flota en todas las condiciones de trabajo utilizando únicamente unidades aisladas, particularmente en los casos en los que el rango de variación de las aguas exteriores es grande y/o las características de la flota no son homogéneos. Especialmente en dichos casos, las defensas fijas son menos adaptables de forma aislada, haciendo necesario en caso de utilizarlas disponer sistemas de defensas formadas por múltiples unidades en paralelo solidarizadas con grandes paneles frontales.

**g) Criterios asociados a la facilidad de instalación y a los costes de suministro, inspección y mantenimiento**

La facilidad de instalación y los costes de suministro, inspección y mantenimiento deberán tomarse en consideración para la selección final del tipo del sistema de defensas de entre los que cumplen los requisitos establecidos en los epígrafes anteriores.

**4.6.4.4.3.3. Transmisión de las cargas de atraque a la estructura**

Las cargas de atraque se transmiten a la estructura resistente en función de las características del sistema de atraque.

Si el sistema de atraque dispone de sistema de defensas:

- ◆ La fuerza de impacto se distribuirá en el área de contacto defensa/estructura, así como, en su caso, a través de los elementos auxiliares (p.e. cadenas en el plano horizontal) que se establezcan específicamente (Ver Nota 23) para garantizar la estabilidad y funcionalidad de la defensa en el caso de impactos excéntricos (Ver figura 4.6.4.24.B). En el caso de sistemas de defensas continuas es admisible considerar que el área de contacto defensa/estructura tiene como dimensión longitudinal la longitud de contacto buque/defensa definida en el epígrafe b del apartado 4.6.4.4.3.2 y como dimensión transversal la de contacto defensa/estructura.
- ◆ La fuerza de rozamiento se transmitirá a la estructura resistente en función de la disposición y características de los elementos auxiliares (p.e. cadenas en el plano vertical y horizontal) que se establezcan, en su caso, para la transmisión de los esfuerzos de corte (Ver figura 4.6.4.23). En el caso de que el sistema de defensas no disponga de estos elementos, siendo capaz de resistir por sí mismo esfuerzos cortantes, podrá considerarse que la fuerza de rozamiento también se aplica en el área de contacto defensa/estructura.

Si el sistema de atraque no dispone de sistema de defensas: tanto la fuerza de impacto como la fuerza de rozamiento se distribuirán en el área de contacto buque/estructura definida de acuerdo con lo dispuesto en el epígrafe b del apartado 4.6.4.4.3.2.

#### 4.6.4.4.4. IMPACTO ACCIDENTAL DEL BUQUE DURANTE LAS OPERACIONES DE ATRAQUE ( $q_{v,43}$ )

El agente “impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque” está asociado con las cargas generadas entre un buque y una estructura de atraque como resultado de impactos extraordinarios que pueden producirse durante las operaciones de atraque debidos a situaciones accidentales como errores humanos durante la maniobra, fallos de los sistemas del buque o de los medios auxiliares (remolcadores, amarras, ...), cambios bruscos de las condiciones climáticas una vez iniciada la maniobra de atraque u otro tipo de accidentes o incidentes que den lugar a la pérdida o disminución del control de la maniobra y, por tanto, a la alteración repentina e involuntaria de las condiciones más desfavorables establecidas como límite para poder realizar en el emplazamiento las maniobras de atraque en las condiciones consideradas como normales.

Por tanto, a los efectos de esta Recomendación no se considera incluido en este agente la colisión accidental o abordaje de un buque en tránsito o a la deriva contra un obstáculo de la navegación al margen de las operaciones de atraque, debido a que esta situación en general no es necesario que sea contemplada en el proyecto de obras de atraque y amarre <sup>(84)</sup>.

(84) La definición de las cargas generadas entre un buque y una estructura de atraque como resultado de impactos accidentales que pueden producirse durante las operaciones de atraque incluida en esta Recomendación no es de aplicación para la definición de las cargas producidas por el choque accidental o abordaje de buques producido por diferentes causas (buque a la deriva, fallos de propulsión o transmisión de un buque en tránsito o en fase de maniobra evolutiva o parada, rotura de amarras de un buque amarrado en otra obra de atraque, ...) contra otras obras de atraque y estructuras existentes en los canales de acceso, zonas de maniobra y demás áreas de flotación (como pilas de puente, entrada de esclusa, ...) sobre las cuales no está previsto el atraque o amarre de buques. Generalmente esta situación accidental no es necesario considerarla para el proyecto de obras de atraque y amarre debido a su baja probabilidad de presentación en las áreas portuarias donde se localizan las obras de atraque debido al alto control con que se realizan las maniobras en dichas áreas y a que suelen estar suficientemente alejadas de las vías de tránsito o de evolución de buques en navegación libre. Por dicha razón no se ha considerado desarrollar la definición de este agente en esta Recomendación de forma exhaustiva. No obstante, lo anterior se establece sin perjuicio de que se deba tomar en consideración esta situación en aquellos casos en los que lo demande expresamente el Promotor de la instalación, así como en aquellos en los que se valore como no despreciable su probabilidad de presentación durante la vida útil (p.e. en obras de atraque situadas en las proximidades de canales de acceso, vías de navegación o zonas de maniobras evolutivas y de parada en las que los buques o algunos de ellos naveguen libremente sin medios auxiliares como practica o remolque y con una alta frecuencia de tránsito). Como criterio general, se considerará esta acción únicamente para la verificación de modos de fallo cuando se verifique esta condición excepcional a criterio incondicional de no fallo ( $p_f < 10^{-4}$ ) o con probabilidades bajas ( $p_f < 0,05$ ) y siempre que existan buques pertenecientes a la flota en tránsito o en maniobra evolutiva o de parada que naveguen libremente sin medios auxiliares en las proximidades de la obra de atraque (i) y se cumpla la siguiente desigualdad:

$$N \sum_i f_i P G_i \geq 10$$

siendo  $N$  el número anual de buques esperable en tránsito o en maniobra evolutiva que pueden afectar a la obra de atraque,  $f_i$  el porcentaje de buques del tipo  $i$  en la flota esperable en tránsito o en maniobra evolutiva y  $P G_i$  la probabilidad de que el buque  $i$  en situación accidental golpee a la obra de atraque. Esta última probabilidad se definirá mediante modelos numéricos o experimentales que definan, asociadas a cada valor de la probabilidad, las áreas barridas por los buques en tránsito, en maniobra evolutiva o parada cuando se produzcan los diferentes accidentes o incidentes, considerando que las condiciones climáticas en el emplazamiento compatibles son las correspondientes a condición de trabajo excepcional (valor cuasi-permanente de las variables climáticas independientes) (Ver Parte 9 de la ROM 3.1-99). En ausencia de análisis detallados del área barrida mediante modelos numéricos, salvo para el caso de maniobra de parada, la probabilidad de que el centro de gravedad de un buque en situación accidental alcance una posición determinada en cada sección perpendicular a la trayectoria operativa establecida para el mismo en condiciones normales puede estimarse simplificada por medio de una función de densidad normal, centrada en el eje de la vía de navegación o de la curva evolutiva con una desviación típica igual a la eslora del buque. Las trayectorias operativas de los buques en maniobra operativa en condiciones normales aplicables a esta situación cuando se consideren en el emplazamiento condiciones climáticas correspondientes a condición de trabajo excepcional, pueden consultarse en la ROM 3.1-99.

En la literatura técnica especializada pueden encontrarse métodos para la determinación de las cargas de impacto producidas por el abordaje de un buque a partir de la energía cinética desarrollada por el mismo en las condiciones excepcionales establecidas, considerando las funciones de distribución de los factores que inciden en su determinación (velocidad del buque, ángulo de aproximación, punto de contacto, ...), obtenidos por medio de los modelos numéricos o experimentales señalados en el párrafo anterior, de forma similar lo dispuesto para la determinación de las cargas de atraque mediante modelos numéricos (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.2. b). Con estas consideraciones, la

Las acciones debidas al impacto accidental de buque durante las operaciones de atraque son equivalentes a los efectos de su descripción, tratamiento y distribución a las acciones de atraque (ver apartado 4.6.4.4.3), considerando la energía cinética desarrollada por el buque y cedida al sistema de atraque en las situaciones accidentales que pueden producirse durante las maniobras de atraque en lugar de la que se produce en las condiciones consideradas como normales.

Las acciones debidas al impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque pueden considerarse como de carácter extraordinario o insólito en los estados meteorológicos en los que se considera la realización de operaciones de atraque y, por tanto, dependientes de los agentes climáticos que actúan en estos estados. La presentación de estas acciones define una condición de trabajo o ciclo de sollicitación asociado a la presentación de dicho agente extraordinario (condiciones excepcionales, CT3,2), no tomándose en consideración en ninguna otra condición de trabajo o ciclo de sollicitación. Es decir, tampoco se considerará que pueda actuar simultáneamente con el agente sísmico u otros agentes de carácter extraordinario o insólito.

Debido a la corta duración de actuación de la acción, en el estado representativo asociado con su presentación puede suponerse simplificada que los otros agentes independientes de actuación simultánea tienen el carácter de permanentes en dicho estado. En este estado los valores representativos y, en su caso las funciones de distribución, de los agentes de estacionamiento y almacenamiento de mercancías, de manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros, así como tráfico terrestre, en las condiciones de simultaneidad entre sí definidas en esta Recomendación y en la situación operativa (en servicio o fuera de servicio) compatible con las operaciones de atraque, serán los correspondientes a condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario, considerando el estado meteorológico en el que se realiza la maniobra de atraque (Ver apartados correspondientes a cada agente y acción).

Debido a su incompatibilidad operativa, las otras cargas de operaciones de los buques no se considerarán de actuación simultánea en dicho estado, salvo las debidas a las corrientes generadas por las hélices y los efectos hidrodinámicos inducidos por un buque navegando. Salvo indicación expresa en contrario por parte del Pro-

---

determinación de la energía cinética desarrollada por el buque podrá realizarse por medio de la formulación establecida en esta Recomendación para las acciones de atraque (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.).

Sin perjuicio de otras formulaciones, puede adoptarse como valor de la acción estática equivalente al abordaje frontal de un buque el obtenido a partir de la fórmula de Woisin-Knott, la cual considera que la estructura que recibe el abordaje es fija e indeformable y que, por tanto, la totalidad de la energía de impacto es absorbida por la deformación del buque. Esta hipótesis es aplicable cuando la estructura que recibe el impacto pueda considerarse a estos efectos como rígida y no está protegida con defensas. De acuerdo con dicha fórmula, el abordaje frontal de un buque de desplazamiento  $\Delta_{\text{impacto}}$  perpendicularmente a una estructura puede asimilarse a la acción de una carga estática puntual y horizontal, perpendicular a la superficie de la estructura que sufre el impacto y aplicada a una altura de 1,50 m sobre el nivel del agua correspondiente a condiciones excepcionales de valor:

$$P_{k, \text{frontal}} = 0,88 \sqrt{TPM} \left( \frac{V_{b,a}}{8} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{\Delta_{\text{impacto}}}{\Delta_{PC}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

siendo  $V_{b,a}$  la velocidad absoluta del buque (velocidad del buque + velocidad de la corriente correspondiente a condiciones climáticas de compatibilidad en condiciones de trabajo excepcionales) en m/s,  $TPM$  el tonelaje de peso muerto del buque en t y  $\Delta_{\text{impacto}}$  y  $\Delta_{PC}$  el desplazamiento del buque en el momento del impacto y a plena carga, respectivamente, expresados en t.  $P_{k, \text{frontal}}$  queda expresada en MN. Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas, se adoptará como valor representativo de la velocidad del buque el correspondiente al 95% de probabilidad de no excedencia de la función de distribución de dicha variable en el escenario extraordinario considerado (Ver ROM 3.1-99 y apartado 4.6.4.4.2.1 de esta Recomendación para valores usuales de las velocidades de buques en tránsito). Para formulaciones probabilistas se utilizará dicha función de distribución de la velocidad en el momento del impacto. Los efectos locales producidos por el impacto se asimilarán a la aplicación de una presión en la zona de impacto de 1MPa. En el caso de que el abordaje se produzca sobre una estructura discontinua, la carga se considerará aplicada en el punto equidistante de sus bordes.

Si el abordaje frontal es oblicuo, formando el vector velocidad del buque un ángulo  $\theta$  con la superficie de la estructura, podrá considerarse que la acción tiene una componente perpendicular a la estructura de valor  $[P_{k, \text{frontal}} \cdot \sin \theta]$  y una componente paralela de valor  $[0,4 \cdot P_{k, \text{frontal}} \cdot \sin \theta]$ . Cuando el choque se produzca con las partes laterales del buque, puede considerarse que la acción de impacto en la dirección de la velocidad del buque es 0,3 veces la definida para el abordaje frontal.

A los efectos de la determinación del valor nominal correspondiente a esta acción accidental, se adoptará el impacto asociado al buque que tiene la mayor probabilidad de abordaje, siempre que para ninguno de los buques individualmente se cumpla que  $N \cdot f_i \cdot PG_i \geq 10$  (Es decir el de mayor  $[N \cdot f_i \cdot PG_i]$ ). En el caso de que alguno de los buques cumpla con dicha desigualdad, se adoptará como valor nominal de la carga accidental el mayor valor de la carga de impacto de entre las correspondientes a estos buques.



motor, los efectos hidrodinámicos generados por el buque navegando se toman en consideración incluyéndolos como parte de las condiciones climáticas más desfavorables en las que se puede realizar la maniobra de atraque en el emplazamiento, ya que en general las condiciones de explotación de la instalación no limitan las maniobras de atraque cuando estos efectos se producen (Ver apartado 4.6.4.4.2).

#### 4.6.4.4.1. Métodos para la determinación de las acciones debidas al impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque

Salvo cuando se cuantifique mediante modelos numéricos o experimentales que simulen los diferentes accidentes o incidentes que pueden presentarse durante la maniobra de atraque (Ver epígrafes b<sub>2</sub> y c del apartado 4.6.4.4.3.1.2), la energía cedida al sistema de atraque en dichas situaciones accidentales se definirá para formulaciones deterministas y semi-probabilistas de las ecuaciones de verificación mediante valores nominales, dada la gran dificultad de disponer de registros directos fiables, completos y suficientes de dicha energía, o indirectos de las velocidades de aproximación al atraque en estas condiciones, que permitan disponer para cada tipo de buque y situación de carga del mismo de funciones de distribución extremas de las energías cinéticas cedidas al sistema de atraque en condiciones operativas extraordinarias.

El valor nominal de la energía cinética cedida al sistema de atraque en condiciones operativas extraordinarias, debidas al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque, que debe adoptarse será función de la probabilidad de presentación adoptada para el modo de fallo considerado en las condiciones de trabajo excepcionales asociadas con la presentación de esta acción. Se definirá como el valor máximo entre los valores obtenidos mayorando el valor representativo de la energía cedida al sistema de atraque definido para condiciones de trabajo correspondientes a la realización de maniobras de atraque en condiciones normales, correspondiente a cada tipo y situación de carga de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque  $[E_{fi}]$  (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.2), mediante un factor de amplificación que estime la magnitud del impacto accidental más desfavorable que para cada tipo de buque y situación de carga del mismo se puede presentar durante el periodo de servicio, asociada a la probabilidad de excedencia adoptada  $[\gamma_{fi}|probabilidad]$ . En ningún caso, el valor nominal de la energía cinética cedida al sistema de atraque en estas condiciones excepcionales será menor que 1,10 el valor característico de la misma en condiciones de trabajo operativas normales. Es decir:

$$E_{f,ext|probabilidad} = \max [\gamma_{fi}|probabilidad \cdot E_{fi}] \geq 1,10 \cdot \max [E_{fi}]$$

Para una determinada probabilidad de presentación en un intervalo de tiempo, la magnitud del impacto accidental que puede asociarse a la misma es función de la composición, características y situación de la carga de los buques de la flota esperable en la obra de atraque y amarre en el periodo de tiempo considerado, así como, para cada tipo de buque y situación de carga del mismo, de las condiciones locales en las que se produce la maniobra de aproximación del buque al atraque en condiciones normales (velocidad de aproximación y grado de control de la maniobra) y de su frecuencia de llegadas al mismo. En este sentido, valores de la velocidad de aproximación en condiciones normales muy reducidos ( $\leq 0,1$  m/s) aumentan la magnitud del impacto accidental para la probabilidad de presentación durante la vida útil considerada, al exigir la maniobra un mayor control del buque y, por tanto, ser más sensible a errores humanos. A su vez, los buques de gran desplazamiento, así como los que transportan mercancías peligrosas, los cuales realizan las maniobras de atraque en condiciones de mayor control de los procedimientos operativos y utilizando en general medios auxiliares capaces de reaccionar antes situaciones extraordinarias, disminuyen la magnitud de los impactos accidentales para la probabilidad de presentación considerada. Finalmente, una alta frecuencia de llegadas puede considerarse que aumenta la magnitud de los impactos extraordinarios para dicha probabilidad.

Para la verificación de modos de fallo en esta condición excepcional con probabilidades de fallo menores del 5%, el factor de amplificación para cada tipo de buque de la flota prevista en el atraque  $[\gamma_{fi}|<5\%]$  puede estimarse, tomando en consideración los aspectos anteriormente señalados, mediante la multiplicación de los factores parciales recogidos en la tabla 4.6.4.43 que le sean de aplicación. Es decir:

$$\gamma_{fi|5\%} = \gamma_{fi|500años} = \prod_{j=\pi}^4 \pi_{fi,j}$$



**Tabla 4.6.4.43. Factores parciales de amplificación para la determinación del valor nominal de la energía cinética cedida por cada tipo de buque al sistema de atraque en condiciones excepcionales debidas al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque, a partir del valor representativo de la energía cinética definida para condiciones de trabajo correspondientes a la realización de maniobras de atraque en condiciones normales (para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo menores del 5%)**

$\gamma_{fi,1}$		$\gamma_{fi,2}$		$\gamma_{fi,3}$		$\gamma_{fi,4}$	
Desplazamiento del buque		Medios auxiliares en la maniobra		Valor representativo de la velocidad de aproximación en condiciones normales		Frecuencia de llegadas de buques al atraque	
$\leq 85.000$ t	$> 85.000$ t	Sin remolcadores	Con remolcadores	$\leq 0,1$ m/s	$> 0,1$ m/s	Alta ( $> 300$ escalas/año)	Baja ( $\leq 300$ escalas/año)
1,50	1,25	1,25	1,00	1,20	1,00	1,15	1,00

Aunque sin responder a un significado estadístico real, el valor nominal de la energía de atraque extraordinaria así estimada puede considerarse a efectos prácticos asociado a un periodo de retorno del orden de 500 años.

Para la verificación de modos de fallo en estas condiciones excepcionales con probabilidades de fallo mayores o iguales del 5% se adoptará el valor nominal de la energía cedida al sistema de atraque en situación extraordinaria asociado a una probabilidad de presentación en el intervalo de tiempo considerado igual a la probabilidad de fallo considerada. Para ello, el factor de amplificación correspondiente a cada tipo de buque asociado con dicha probabilidad de presentación (periodo de retorno  $T_R$ ) podrá obtenerse a partir del factor definido de acuerdo con la metodología incluida en la tabla 4.6.4.43, considerando que la función extremal de dicho factor puede aproximarse mediante la siguiente relación:

$$\gamma_{fi|T_R} = \gamma_{fi|500 \text{ años}} = \left[ \frac{T_R}{500} \right]^{\frac{1}{20}}$$

siendo  $T_R$  el periodo de retorno en años.

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación, para cada tipo, características y situación de carga de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, la energía cinética cedida al sistema de atraque en situaciones excepcionales debidas a impactos accidentales del buque durante las maniobras de atraque podrá definirse por medio de una función de distribución derivada de la función de distribución de la energía cinética correspondiente a este tipo de buque y situación de carga del mismo en condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de maniobras de atraque en condiciones normales (Ver apartado 4.6.4.4.3.1) y de la función de distribución extremal del factor de amplificación  $\gamma_{fi|T}$  asociado al mismo, estimada de acuerdo con lo previsto en este apartado. La función de distribución de la energía cedida al sistema de atraque por el conjunto de la flota en estas condiciones excepcionales podrá obtenerse como función derivada de la función de distribución de la energía cedida en estas condiciones por cada uno de los buques de la flota y de las funciones de densidad que definen la composición de la flota.

Los valores nominales de la energía cinética cedida al sistema de atraque en la condición de trabajo excepcional asociada con el impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque, correspondientes a cada tipo de buque y situación de carga del mismo perteneciente a la flota esperable en el atraque, también podrán obtenerse de forma más precisa mediante modelos numéricos y experimentales, de igual forma que lo previsto para la determinación de los valores representativos de la energía cedida al sistema de atraque en condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de maniobras de atraque en condiciones normales (ver epígrafes  $b_2$  y  $c$  del apartado 4.6.4.4.3.1.2), pero considerando en este caso, en cada estado meteorológico y operativo simulado para condiciones de atraque normales, escenarios de atraque que contemplen los diferentes supuestos que se pueden presentar en casos accidentales o de emergencia durante la maniobra de atraque, particularmente los debidos a fallos de los sistemas del buque y de los medios auxiliares (amarras, remolcadores, ...). A los efectos de definir los valores nominales de dicha energía asociados a cada probabilidad de presentación, el valor repre-

sentativo de la energía cinética en condiciones extraordinarias obtenido para cada tipo de buque y situación de carga del mismo mediante la utilización de estas últimas metodologías ( $E_{fi|extraordinaria}$ ) se considerará equivalente al valor  $\gamma_{fi|500 \text{ años}} \cdot E_{fi}$  cuando se parte de la energía cinética cedida en condiciones operativas normales obtenida mediante métodos estadísticos o modelos analíticos. En este caso, la función de distribución de la energía cinética cedida al sistema de atraque correspondiente a cada buque en estas condiciones puede estimarse mediante la formulación la definida para el factor de amplificación. Es decir:

$$E_{fi|extraordinaria} T = E_{fi|extraordinaria} 500 \text{ años} \left[ \frac{T_R}{500} \right]^{\frac{1}{20}}$$

Los valores nominales de la energía cedida al sistema de atraque debido a impacto accidental de buque durante las operaciones de atraque se resumen en la tabla 4.6.4.44.

Si el Promotor no está en condiciones de precisar de forma fiable, completa y suficiente la composición y características de la flota de buques esperable en la instalación y define, de acuerdo con lo previsto en esta Recomendación únicamente los buques máximo y mínimo, a los efectos de definir la energía cinética cedida al sistema de atraque en condiciones extraordinarias se considerará como valor nominal de dicha energía el más desfavorable de los valores representativos correspondientes a cada uno de los buques. Es decir:

$$E_{f,ext|probabilidad} = \max [(\gamma_{f, buque \text{ max}}|probabilidad \cdot E_{f, buque \text{ max}}), (\gamma_{f, buque \text{ mín}}|probabilidad \cdot E_{f, buque \text{ mín}})] \geq 1,10 \cdot \max[E_{f, buque \text{ max}}, E_{f, buque \text{ mín}}]$$

**Tabla 4.6.4.44. Valores nominales de la energía cinética desarrollada por el buque y cedida al sistema de atraque en condiciones excepcionales debidas al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque para fase de servicio de obras definitivas <sup>1)</sup> (Para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo menores del 5%) <sup>2)</sup>**

CONDICIÓN DE TRABAJO	MÉTODO DE CÁLCULO DE LA ENERGÍA CEDIDA AL SISTEMA DE ATRAQUE EN CONDICIONES NORMALES	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo normales Operativas correspondientes a la realización de las maniobras de atraque (CT1)	—	—	—	—	—
Coniciones de Trabajo Extremas (CT2)	—	—	—	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque (CT3,2)	Estadístico y Analítico	$\max[\gamma_{fi 500 \text{ años}} \cdot E_{fi}] \geq 1,10 \max[E_{fi}]$	—	—	—
	Númérico y Experimental <sup>3)</sup>	$\max[E_{fi extraordinaria} 500 \text{ años}] \geq 1,10 \max[E_{fi}]$	—	—	—
Otras condiciones de Trabajo Excepcionales y Condiciones de Trabajo Excepcionales o Extremas debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,1 y CT3,3)	—	—	—	—	—

**Valores nominales de la energía cinética desarrollada por el buque y cedida al sistema de atraque en condiciones excepcionales debidas al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque para fase de servicio de obras definitivas <sup>1)</sup> (Para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo menores del 5%) <sup>2)</sup>**

**Notas**

- 1) En estados o situaciones de proyecto transitorios; es decir aquéllos que tienen corta duración respecto al periodo de servicio de la obra ya sea, entre otros, por causa de la geometría de la obra (fase de construcción), por las características del terreno, por las acciones actuantes o por ser representativos de una situación post-excepcional (fase de reparación) no se considera la actuación de ningún tipo de acción accidental o extraordinaria.
- 2) Para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo mayores o iguales al 5%, ver texto.
- 3) Simulando escenarios de atraque que contemplen los diferentes supuestos que se pueden presentar en casos accidentales o de emergencia durante la maniobra de atraque definida para condiciones normales (fallos de los sistemas del buque y de los medios auxiliares).

**LEYENDA**

- $E_{fi}$  : valor representativo de la energía cinética cedida al sistema de atraque durante las operaciones de atraque en condiciones normales correspondiente al buque  $i$  de la flota esperable en el atraque.
- $\gamma_{fi|500 \text{ años}}$  : Factor de amplificación para la estimación del valor representativo de la energía cedida al sistema de atraque en situaciones extraordinarias debidas al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque a partir del valor representativo de la misma en condiciones de trabajo normales, para el buque tipo  $i$  de la flota esperable en el atraque, asociado a efectos prácticos a un periodo de retorno de 500 años.
- $E_{fi|extraordinario|500 \text{ años}}$  : valor representativo de la energía cinética cedida al sistema de atraque en situaciones accidentales o de emergencia correspondiente al buque tipo  $i$  de la flota esperable en el atraque obtenido mediante modelos numéricos o experimentales, asociado a un periodo de retorno de 500 años.

#### 4.6.4.4.2. Comprobaciones complementarias para la elección del tipo y características del sistema de atraque asociadas con la energía cinética debida a impactos accidentales del buque durante las operaciones de atraque

El sistema de atraque en la condición de trabajo correspondiente a la presentación del agente accidental “impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque” deberá cumplir los requisitos mínimos definidos a continuación.

En el caso de que, a criterio del Promotor de la instalación soportado por estudios de optimización económica, a partir de una probabilidad de presentación mayor que la considerada para la verificación del fallo del sistema de atraque en estas condiciones excepcionales, se admitan averías o daños parciales debidos a los impactos accidentales que puedan afectar al sistema de defensas, deberá comprobarse que la instalación de atraque en la situación post-excepcional (después del impacto accidental) puede satisfacer los requisitos de seguridad, servicio y operatividad exigidos para dicha fase transitoria hasta su completa reparación, para todas las condiciones de trabajo que sean de aplicación en dicha fase <sup>(85)</sup>.

##### a) Criterios asociados a la condición de no fallo del sistema de atraque

Salvo que el Promotor de la instalación de atraque fije otro criterio, para cada buque y situación de carga del mismo, la parte correspondiente del mayor valor nominal adoptado para la energía cinética cedida al

(85) Un caso bastante común, especialmente si se prevén unidades de repuesto que permitan una reposición rápida, es admitir daños o roturas de las defensas a partir de un cierto valor del impacto extraordinario, asociado a una probabilidad de presentación del mismo mayor que la que se ha adoptado para verificar el fallo de la estructura de atraque, siempre que las acciones transmitidas en esta situación no produzcan daños en la obra o a la estructura del buque. En este caso deberá comprobarse que durante la fase asociada a la sustitución o reparación de la defensa, la instalación de atraque cumple los requisitos de seguridad, servicio y operatividad exigidos en dicha fase transitoria. En configuraciones físicas de la obra de atraque tipo muelle o pantalán continuo es más usual admitir daños o roturas de las defensas por un impacto extraordinario que en pantalanes discontinuos o duques de alba, ya que los criterios de seguridad y operatividad durante la fase transitoria citada son más fácilmente verificables en las primeras, al ser estas configuraciones físicas mucho menos sensibles a la rotura de una defensa aislada.

sistema de atraque debida a impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque<sup>(86)</sup>, absorbida por cada uno de los elementos que forman parte del sistema de atraque, no debe exceder la capacidad de absorción de energía de cada uno de estos elementos en el dominio último, definida por medio de los valores característicos de sus curvas de comportamiento para condiciones de trabajo operativas en condiciones normales, considerando el nivel inferior y superior de compatibilidad de las aguas exteriores en el estado meteorológico asociado con el valor representativo de la energía cinética en dicha condición de trabajo. En el caso de que el Promotor admita el agotamiento o rotura del sistema de defensas, en ningún caso la parte de la energía absorbida en esta situación por la estructura de atraque deberá exceder su capacidad de absorción en el dominio último.

Asimismo deberá verificarse que los elementos que conforman el sistema de atraque no fallan debido a los esfuerzos de corte longitudinales y transversales, considerando la componente de rozamiento de las cargas de atraque asociada con el mayor valor nominal adoptado para la energía cinética cedida al sistema de atraque debida al impacto accidental del buque.

Para formulaciones probabilistas, deberá cumplirse que la probabilidad de que, en la condición de trabajo excepcional correspondiente a la presentación del agente “impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque”, las cargas de atraque en cada uno de los elementos que forman parte del sistema de atraque excedan el dominio último es menor que la probabilidades de presentación más pequeña adoptada para los modos de fallo del sistema de atraque en dicha condición de trabajo.

#### **b) Criterios asociados a la condición de no fallo de la estructura del buque**

Para cada tipo y condición de carga de los buques esperables en el atraque y en el escenario de atraque asociado con cada uno de ellos, tanto para los niveles superiores como inferiores de compatibilidad de las aguas exteriores en el estado meteorológico asociado con el valor representativo de la energía cinética en condiciones de trabajo normales operativas, las cargas y presiones de contacto ejercidas sobre el casco del buque deben mantenerse en niveles que no produzcan daños o deformaciones permanentes en la estructura de dicho buque, para el mayor valor nominal de la energía cinética cedida al sistema de atraque debida a impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque.

Para la definición de las cargas y presiones de contacto, de las máximas presiones admisibles sobre el casco de los buques y de las áreas de contacto casco del buque/sistema de atraque será de aplicación lo dispuesto a estos efectos en el apartado correspondiente a las acciones de atraque (ver epígrafe b del apartado 4.6.4.4.3.2).

En el caso de que se consideren formulaciones probabilistas, deberá comprobarse que la probabilidad de que las cargas y presiones de contacto ejercidas sobre el casco de los buques en esta condición de trabajo excepcional, tanto para los niveles superiores como inferiores de compatibilidad de las aguas exteriores, supere las presiones admisibles es menor que la probabilidad de excedencia más pequeña adoptada para los modos de fallo del sistema de atraque en esta condición de trabajo.

#### **c) Criterios asociados a las deformaciones del sistema de atraque**

Para cada tipo y condición de carga de los buques esperables en el atraque, las deformaciones del sistema de atraque en el momento del impacto extraordinario definido por el mayor valor nominal de la energía cinética cedida al sistema de atraque debida al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque [ $\gamma_{fj, menor probabilidad} \cdot E_{fj} \geq 1,1 \cdot E_{fj}$ ], teniendo en cuenta la posibilidad de deformaciones no uniformes debido a compresiones angulares horizontales y verticales correspondientes al escenario

(86) El mayor valor nominal adoptado para la energía cinética en estas condiciones de trabajo es el asociado con la menor probabilidad de excedencia adoptada para los modos de fallo del sistema de atraque en estas condiciones de trabajo [ $\gamma_{fj, menor probabilidad} \cdot E_{fj} \geq 1,1 \cdot E_{fj}$ ].

de atraque de dicho buque asociado con el valor representativo de la energía cinética en condiciones normales operativas, considerando el nivel inferior y superior de las aguas exteriores compatibles con dicho escenario, deben mantenerse en niveles que, para las distintas posiciones que puede tomar el área de impacto en el casco del buque, impidan el contacto directo de otras partes del casco ajenas a dicha área o de la superestructura del buque con la estructura resistente, con la superestructura o con el equipamiento localizado en la obra de atraque. Para esta situación también serán de aplicación las verificaciones y recomendaciones definidas a estos efectos para condiciones normales de la maniobra de atraque (epígrafe c del apartado 4.6.4.4.3.2).

Para formulaciones probabilistas, deberá verificarse que la probabilidad de que se produzca contacto directo del buque con la estructura resistente, la superestructura o con el equipamiento en esta condición de trabajo excepcional, tanto para los niveles superiores como inferiores de compatibilidad de las aguas exteriores, es menor que la probabilidad de excedencia más pequeña adoptada para los modos de fallo del sistema de atraque en dicha condición de trabajo.

#### **4.6.4.4.5. CORRIENTES GENERADAS POR LAS HÉLICES Y OTROS EQUIPOS DE PROPULSIÓN Y MANIOBRA DE LOS BUQUES ( $q_{v,44}$ )**

Este agente está asociado con el campo de velocidades del flujo generado por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques y embarcaciones auxiliares en las proximidades de las obras de atraque y amarre, durante las operaciones de atraque y desatraque o durante la permanencia del buque en el atraque cuando se considere la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre.

Las velocidades de las corrientes generadas por esta causa pueden superar ampliamente las debidas a las corrientes naturales y a las corrientes de retorno inducidas por el buque navegando, alcanzando valores del orden de hasta 8 m/s en los fondos marinos. Estas corrientes pueden actuar de forma directa sobre los buques y las obras de atraque de forma equivalente a las corrientes naturales, considerando el correspondiente perfil de velocidades, siendo un factor a tomar en consideración para la determinación de las acciones que dependen de las corrientes, particularmente de las cargas de amarre, así como para la verificación de los distintos modos de fallo en los que su actuación puede ser predominante.

Particularmente, estas corrientes deberán tomarse como agente predominante para la verificación del modo de fallo “socavación o erosión” de los fondos marinos en las zonas próximas a las obras de atraque, del pie de los taludes de relleno en las obras fijas abiertas y de las banquetas de cimentación en las obras de gravedad, así como, en su caso, para verificar las soluciones para hacer frente a estos efectos (aumento de los resguardos en los calado de proyecto, incorporación de elementos específicos de protección, ...) y proceder a su dimensionamiento (Ver ROM 0.5-05). Cuando la velocidad de la corriente generada en el fondo marino por dicha causa supera un valor crítico, función del tipo de material y de la pendiente del fondo, se producen desplazamientos de dicho material formándose socavaciones y acumulaciones que pueden inducir fallos o paradas operativas en las obras de atraque.

Este agente tiene un carácter variable. Su variabilidad temporal tiene un marcado carácter oscilatorio. Puede describirse mediante modelos de probabilidad de la variable básica que lo define (velocidad instantánea de la corriente en un punto) y por sus parámetros estadísticos (variables de estado) de forma similar a lo indicado para los agentes del medio físico y particularmente para el viento o la corriente (ver apartado 4.6.2 y ROM 0.4-95).

El campo de velocidades de un flujo generado por las hélices, en zonas no afectadas por la proximidad de obras de atraque y amarre u otros obstáculos que supongan un confinamiento del flujo, puede dividirse en dos zonas: una inicial de establecimiento del flujo (que alcanza una distancia de aproximadamente 2 o 3 veces el diámetro de la hélice) y otra donde el flujo puede considerarse estabilizado. En estos casos, la variable que se considera que define a este agente es el campo de velocidades correspondiente al flujo estabilizado. Dicho campo de velocidades puede considerarse definido predominantemente por los perfiles de velocidades de corriente horizontales contenidos en el plano vertical que contiene el eje de la hélice o en el plano vertical de simetría respecto a sus ejes en el caso de dos o más hélices (plano de crujía del buque en el caso de hélice/s situadas en popa y plano perpendicular al plano de crujía en el caso de hélice/s transversales situadas a proa o popa), a dife-

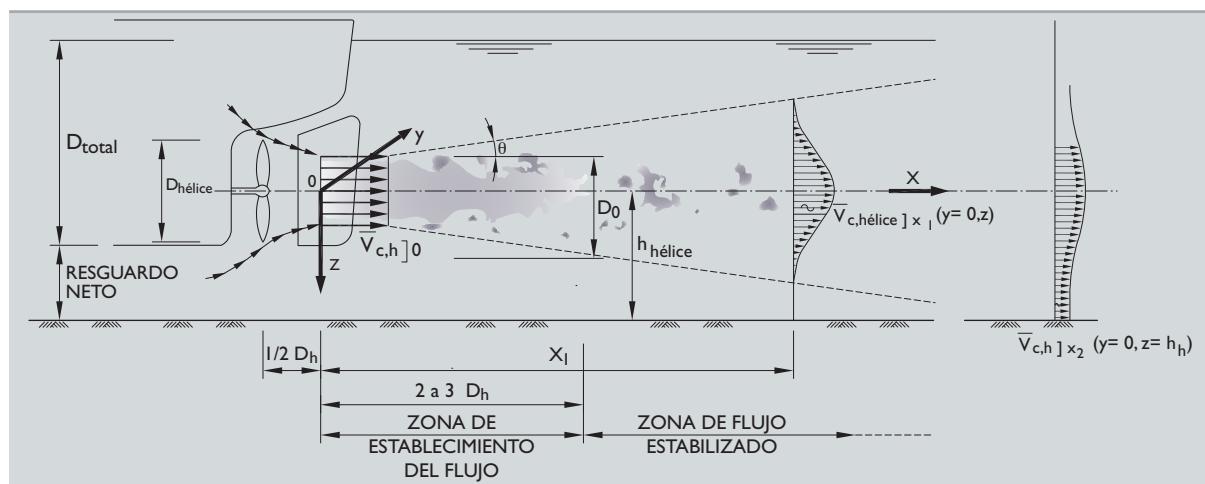
rentes distancias horizontales ( $x$ ) de la hélice/s medidas sobre el eje de la misma o, en el caso de más de una hélice, sobre la línea horizontal contenida en el plano de simetría de los ejes de las hélices (Ver figura 4.6.4.27). Estos perfiles de velocidades de corriente horizontales se complementan con los contenidos en planos paralelos al anteriormente definido en los diferentes puntos del eje perpendicular al mismo ( $y$ ). Estos perfiles de velocidades definen las componentes axiales de la velocidad de la corriente. Las componentes radiales y tangenciales de la velocidad de la corriente pueden considerarse despreciables en relación con las componentes axiales.

Cada una de estas velocidades puede considerarse compuesta por una componente media  $[\overline{V_{C, \text{hélices}}}]_x(y, z)$  y por una componente aleatoria de fluctuación en la dirección del flujo, estacionaria, de distribución gaussiana y valor medio cero, que describe las características de la turbulencia longitudinal del flujo  $[V_{C, \text{hélices}}]_x(t)$ . Es decir:

$$V_{C, \text{hélices}}]_x(y, z, t) = \overline{V_{C, \text{hélices}}}]_x(y, z) + V_{C, \text{hélices}}]_x(t)$$

Es admisible considerar que la distribución de velocidades medias axiales en el plano vertical que contiene el eje de la hélice (o en el plano vertical de simetría respecto a sus ejes en el caso de dos o más hélices) en cada punto ( $x$ ) de la zona de flujo estabilizado puede aproximarse a través de una distribución normal centrada en dicho/s eje/s (Ver figura 4.6.4.27).

**Figura 4.6.4.27. Definición de componentes axiales del campo de velocidades de corriente generadas por las hélices de los buques (En  $y = 0$ ) sin alteración por la presencia de obras u otros obstáculos**



Las condiciones de contorno en el emplazamiento, especialmente la presencia de las obras de atraque y amarre, así como de otros buques, pueden alterar sustancialmente este campo de velocidades. En estos casos la definición de los perfiles de velocidades podrá realizarse mediante modelos experimentales o mediante modelos matemáticos numéricos capaces de reproducir adecuadamente el campo de velocidades de un chorro generado por hélices en las condiciones de contorno del emplazamiento.

El agente "corrientes generadas por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques" puede considerarse como un agente compuesto al ser dependiente de otros agentes que inciden en su cuantificación, particularmente del buque, de los agentes climáticos (fundamentalmente el nivel bajo de las aguas exteriores, pero también el oleaje, el viento, las corrientes, ... que pueden producir aumentos del calado del buque respecto a su calado estático. Ver ROM 3.1-99) y de otros agentes inducidos por los buques navegando, por lo que se considerará que está correlacionado con estos agentes en las condiciones de trabajo en las que se considere la realización de maniobras de atraque y desatraque, así como en aquéllas en las que, en su caso, se considere la permanencia del buque en el atraque con la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre, y actuando simultáneamente con ellos. Por tanto, en lo que afecta a esta



Recomendación, la manifestación estacionaria de este agente se produce únicamente en las citadas condiciones de trabajo y, por tanto, no se tomará en consideración en ninguna otra condición de trabajo operativa, extremal o excepcional en las que no se considere la realización de maniobras de atraque o desatraque o la permanencia del buque en el atraque con el auxilio de embarcaciones auxiliares.

No se considera necesario tomar en consideración este agente para la definición de las acciones de atraque del buque generador; es decir, no se considerará dicha corriente para la cuantificación de la velocidad de la corriente en el emplazamiento que interviene en la formulación de dicha acción. Sin embargo, deberá tomarse en consideración para la determinación de las acciones de amarre correspondientes a un buque cuando la configuración y características del sistema de amarre en una condición de trabajo (p.e. condiciones de trabajo excepcionales) incluya el auxilio de embarcaciones auxiliares (remolcadores), así como para la determinación de cargas de amarre en buques situados en atraques contiguos en la condición de trabajo correspondiente a la realización de maniobras de atraque o desatraque del buque generador (Ver apartado 4.6.4.4.7).

Independientemente del tipo de terreno y de los resguardos adoptados en el proyecto, deberán valorarse especialmente los efectos debidos a las hélices y otros elementos de propulsión y maniobra sobre el fondo marino y las obras de atraque en aquellos emplazamientos y configuraciones de atraque en los cuales los buques atracan frecuentemente en la misma posición o éstos realizan las maniobras de atraque y desatraque mediante sus propios medios de propulsión y gobierno y sin ayuda de equipos auxiliares (remolcadores) y particularmente cuando la flota de buques esperable en el atraque esté compuesta por buques dotados con dispositivos de gran potencia que permiten mejorar sus condiciones de maniobrabilidad a baja velocidad (comunes en buques portacontenedores, ro-ro, ferris y buques de guerra) como de más de una hélice, hélices en tobera o hélices transversales (Ver ROM 3.1-99). Por dichas razones, es recomendable considerar con el mayor detalle estos efectos en las configuraciones de atraque que conforman líneas de atraque discontinuas con atraque lateral del buque, así como en las obras para atraque por proa o popa, independientemente del uso de la obra de atraque.

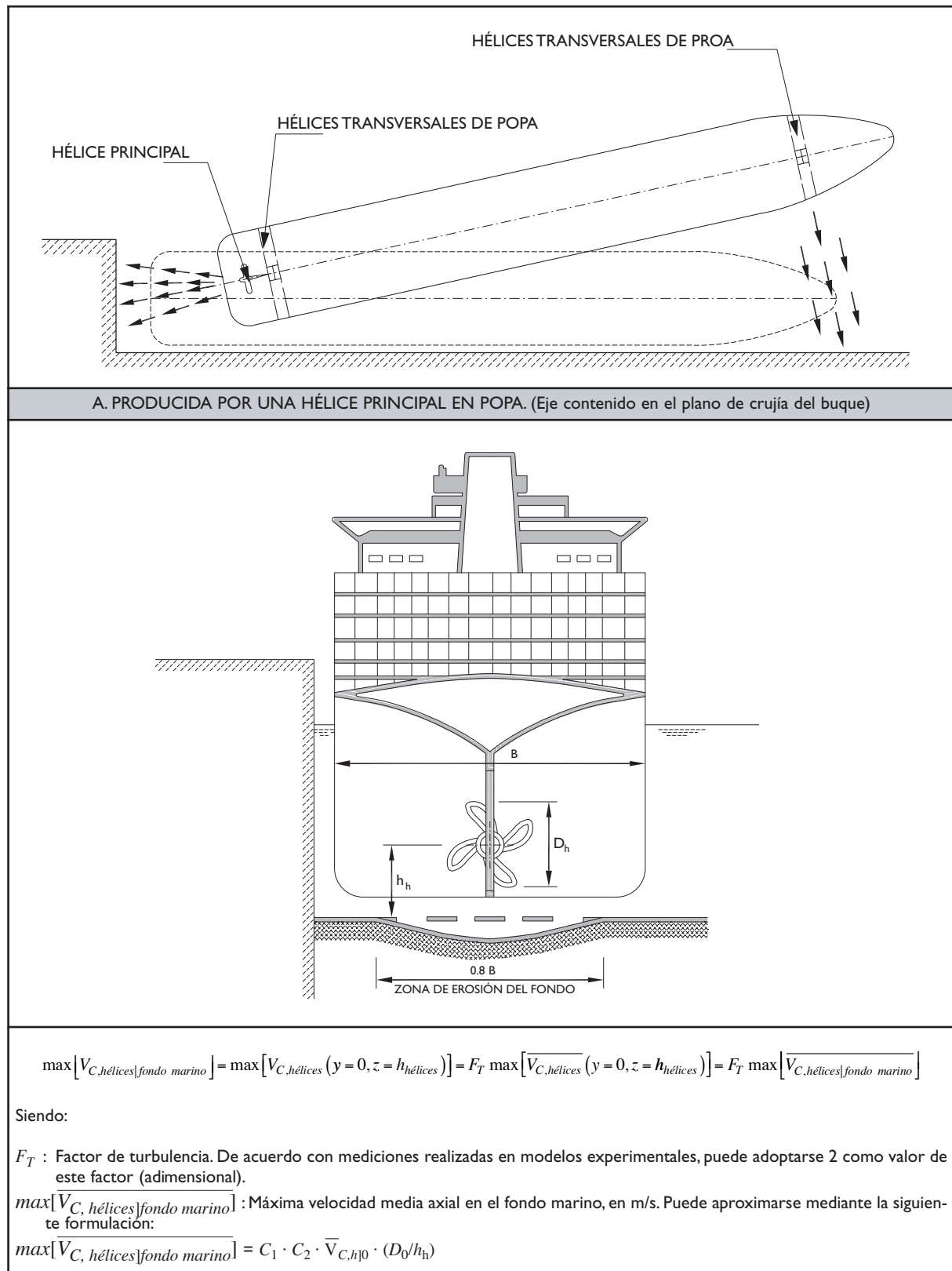
#### 4.6.4.4.5.1. Máxima velocidad horizontal de la corriente en el fondo marino

Para la verificación del modo de fallo “socavación, erosión y acumulación” en las proximidades de las obras de atraque y amarre, simplifícadamente el agente “corrientes generadas por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques” se definirá adoptando como variable de estado la máxima velocidad horizontal de la corriente en el fondo marino en el plano vertical que contiene el eje de la hélice o en el plano vertical de simetría respecto a sus ejes en el caso de dos o más hélices [ $\max V_{C,hélices} (y = 0, z = h_{hélice})$ ].

Tal como se ha señalado para la definición de los perfiles de velocidades de corriente en presencia de las obras de atraque y amarre, la cuantificación de esta variable de estado puede realizarse para cada buque mediante modelos experimentales o mediante modelos matemáticos numéricos capaces de reproducir adecuadamente el campo de velocidades de un chorro generado por hélices en las condiciones de contorno en el emplazamiento y en las condiciones de trabajo consideradas. Sin perjuicio de lo anterior, se considera suficientemente válidas a los efectos de esta Recomendación, las estimaciones de esta variable incluidas en la tabla 4.6.4.45, tanto para cuando es producida por hélices principales en popa como por hélices transversales en proa o popa. La formulación incluida en la tabla se basa en admitir que la distribución de velocidades medias axiales en el plano vertical que contiene el eje de la hélice puede aproximarse a través de la distribución normal correspondiente a flujo no confinado, modificada mediante la introducción de parámetros y coeficientes de ajuste obtenidos experimentalmente para cada una de las condiciones de confinamiento del flujo.

De acuerdo con dicha formulación, para un buque o embarcación auxiliar determinado, los factores que inciden fundamentalmente en la cuantificación de la máxima velocidad de la corriente en el fondo marino generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de dicho buque o embarcación auxiliar en las distintas condiciones de trabajo (operativas y, en su caso, extremas y excepcionales) en las que se considere la realización de maniobras de atraque (Ver apartados 4.6.4.4.3. Acciones de atraque), así como en aquellas otras condiciones de trabajo en las que se considere la permanencia del buque en el atraque con la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre (Ver apartado 4.6.4.4.7. Acciones de amarre), son los siguientes:

**Tabla 4.6.4.45. Definición de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices de los buques y embarcaciones auxiliares en el fondo marino durante las operaciones de atraque y desatraque o durante la permanencia de los buques en el atraque cuando se considere la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre**





**Definición de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices de los buques y embarcaciones auxiliares en el fondo marino durante las operaciones de atraque y desatraque o durante la permanencia de los buques en el atraque cuando se considere la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre (continuación)**

Siendo:

$D_0$  : diámetro inicial del chorro (zona de máxima contracción (Ver figura 4.6.4.27), en m.  
Puede tomarse igual a  $D_h$  (diámetro de la hélice) para hélices en tobera y a  $0,71D_h$  para hélices abiertas. Cuando el diámetro de la hélice no sea conocido, puede estimarse como el 70% del calado del buque en condiciones de desplazamiento en lastre.

$h_h$  : distancia vertical entre el eje de la hélice y el fondo marino, en m. Cuando esta distancia en una determinada condición de trabajo no sea conocida puede determinarse a partir de la formulación del calado total incluida en la Parte 7 de la ROM 3.1-99, considerando que la distancia usual entre el eje de las hélices y la quilla del buque es del orden de  $D_h/2 + 0,5$  m.

$\bar{V}_{C,h|0}$  : velocidad del chorro en el origen ( $x = 0, z = 0$ ), en m/s. Puede adoptarse como:

$$\bar{V}_{C,h|0} = 1,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{\rho_w \cdot D_0^2}}$$

$P$  : potencia utilizada del sistema de propulsión, en W. Usualmente no se utiliza la totalidad de la potencia instalada durante las maniobras de atraque y desatraque, excepto en el caso de buques ro-ro y ferris o cuando las condiciones climáticas límite de operatividad adoptadas para las operaciones de atraque o desatraque se clasifiquen como desfavorables de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.36. Salvo en esos casos y en ausencia de otros criterios de explotación, se recomienda adoptar como potencia utilizada el 40% de la potencia instalada, independientemente de la utilización o no de remolcadores. En ausencia de datos más precisos, los valores usuales de la potencia instalada en cada buque puede determinarse de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 3.3.1.3. de la ROM 3.1-99.

$\rho_w$  : densidad del agua, en  $kg/m^3$  (Ver apartado 4.5).

$C_1$  : factor de confinamiento del flujo por efecto del fondo marino. De acuerdo con mediciones realizadas en modelos experimentales, puede adoptarse 0,4 como valor usual de este factor (adimensional).

$C_2$  : factor de confinamiento del flujo por la obra de atraque (adimensional) Se adoptarán los siguientes valores en función de la posición relativa del buque respecto a la obra de atraque durante la maniobra de atraque o desatraque:  
 $C_2 = 1.1$ , cuando el flujo es aproximadamente paralelo a la línea de atraque (atraque lateral o de costado).  
 $C_2 = 1.2$ , cuando el flujo es aproximadamente perpendicular a la línea de atraque (atraque por popa).

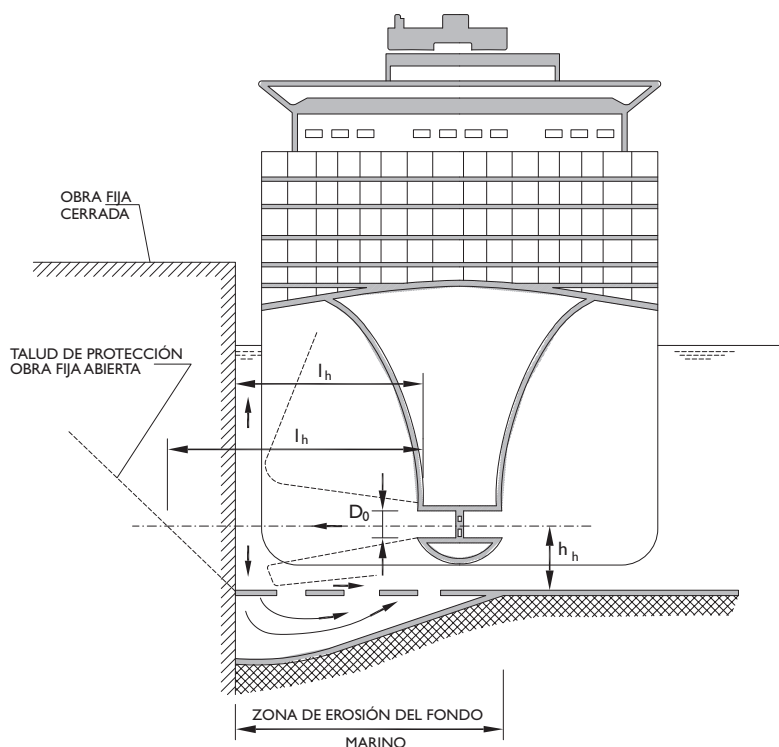
De acuerdo con el modelo matemático en el que se basa esta aproximación, puede considerarse que la máxima velocidad axial en el fondo marino debida a la corriente generada por una hélice principal en popa se produce a una distancia de la hélice entre 3 y 10 veces la distancia vertical entre el eje de la hélice y el fondo marino. Asimismo puede considerarse que el campo de velocidades axiales en el fondo marino en la zona en la que se produce la máxima corriente prácticamente no es significativo a partir de una distancia a ambos lados del eje de la hélice igual a 0,40 veces la manga del buque.

Dado que la distancia entre ejes en el caso de hélices múltiples está entre una y dos veces el diámetro de éstas, puede considerarse que la anterior aproximación es aplicable para cada una de las hélices hasta una distancia de aproximadamente  $10 D_0$ , por lo que, independientemente del número de hélices, la zona en la que se produce la máxima corriente se mantiene la misma, aunque la anchura en el fondo marino afectada será lógicamente mayor. Para distancias mayores puede considerarse que la distribución de velocidades sería equivalente a la producida por una única hélice de mayor tamaño, pudiendo admitirse que la zona afectada por el chorro tiene el doble de anchura que la debida a una única hélice.

- ◆ Tipo, potencia, dimensiones y posición del sistema de propulsión y maniobra del buque o embarcación auxiliar.
- ◆ Parámetros geométricos y de situación de carga del buque o embarcación auxiliar.
- ◆ Posición relativa del buque o embarcación auxiliar respecto al fondo marino, a la superficie de agua y a la obra de atraque en la condición de trabajo considerada.
- ◆ Distancia del eje de la o de las hélices al fondo marino ( $h_{hélice}$ ) en la condición de trabajo considerada.
- ◆ Velocidad de desplazamiento del buque o embarcación auxiliar. Dado que las magnitudes del campo de velocidades se reduce por efecto de la navegación, del lado de la seguridad se considerará simplificada a los efectos de esta Recomendación que la velocidad del buque o embarcación auxiliar es nula durante las maniobras de atraque y desatraque o durante la permanencia del buque en el atraque.
- ◆ Parámetros geométricos y tipológicos de la obra de atraque.

**Definición de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices de los buques y embarcaciones auxiliares en el fondo marino durante las operaciones de atraque y desatraque o durante la permanencia de los buques en el atraque cuando se considere la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre (continuación)**

**B. PRODUCIDA POR HÉLICES TRANSVERSALES SITUADAS EN PROA O POPA**  
(eje perpendicular al plano de crujía del buque)



$$\max[V_{C, \text{hélices trans} \backslash \text{fondo marino}}] = \max[V_{C, \text{hélices trans}}(y=0, z=h_{\text{hélices}})] = F_T \max[\bar{V}_{C, \text{hélices trans}}(y=0, z=h_{\text{hélices}})] = F_T \max[\bar{V}_{C, \text{hélices trans} \backslash \text{fondo marino}}]$$

Siendo:

$F_T$  : Factor de turbulencia. De acuerdo con mediciones realizadas en modelos experimentales, puede adoptarse 2 como valor de este factor (adimensional).

$\max[\bar{V}_{C, \text{hélices trans} \backslash \text{fondo marino}}]$  : Máxima velocidad media axial en el fondo marino, en m/s. Puede aproximarse mediante la siguiente formulación:

$$\max[V_{C, \text{hélices trans} \backslash \text{fondo marino}}] = C_3 \cdot \bar{V}_{C, \text{htrans}, h_0} \cdot \frac{D_0}{l_h + h_h}, \text{ para } \frac{l_h}{h_h} \geq 1,8$$

Siendo:

$D_0$  : diámetro interior de la boca del túnel en el que se encuentran instaladas las hélices transversales, en m. Cuando dicho diámetro no sea conocido puede estimarse considerando que el diámetro usual puede ajustarse a la siguiente relación, en función del tonelaje de peso muerto del buque:

$$D_0 = 1,75 \cdot 10^{-5} \cdot \text{TPM} + 1,50, \text{ para } D_0 \text{ en m y TPM (Tonelaje de Peso Muerto del buque), en t.}$$

$h_h$  : distancia vertical entre el eje de la hélice y el fondo marino, en m. Cuando esta distancia en una determinada condición de trabajo no sea conocida puede determinarse a partir de la formulación del calado total incluida en la Parte 7 de la ROM 3.1-99, considerando que la distancia usual entre el eje de las hélices y la quilla del buque es del orden de  $3D_0/2$ .

$l_h$  : en el caso de línea de atraque perpendicular al eje de las hélices, distancia horizontal entre la boca del túnel en el que se encuentran instaladas las hélices transversales y el paramento de la obra de atraque en el caso de obras de atraque fijas cerradas o el talud de protección en el caso de obras de atraque fijas abiertas, medida en el eje de las hélices en m. Para la determinación de esta distancia, a falta de datos más precisos puede considerarse que la boca del túnel se encuentra a una distancia aproximada de  $0,15B$  del plano de crujía del buque, siendo  $B$  la manga del buque, y que el buque se encuentra en posición de atraque en contacto con la defensa en situación no deformada siempre y cuando esa posición de lugar a que  $l_h$  sea mayor o igual que  $1,8h_h$ . En caso contrario se adoptará  $l_h = 1,8h_h$ .

**Definición de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices de los buques y embarcaciones auxiliares en el fondo marino durante las operaciones de atraque y desatraque o durante la permanencia de los buques en el atraque cuando se considere la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre (continuación)**

$\bar{V}_{C,trans,h 0}$ : velocidad del chorro en la boca del túnel en el que se encuentran instaladas las hélices ( $x = 0, z = 0$ ), en m/s. Puede adoptarse como:	
$\bar{V}_{C,trans,h 0} = 1,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{htrans}}{\rho_w \cdot D_0^2}}$	
$P_{htrans}$ : potencia instalada del sistema de propulsión de las hélices transversales, en W. En estos casos, para las maniobras de atraque y desatraque se utiliza usualmente la totalidad de la potencia instalada. A falta de datos más precisos, dicha potencia puede estimarse considerando que puede ajustarse a la siguiente relación en función del tonelaje de peso muerto del buque: $P_{htrans} = 3 \cdot 10^{-2} \cdot \text{TPM}$ , para $P_{htrans}$ en kW y TPM en t. adoptándose como mínimo una potencia de 750 kW. $\rho_w$ : densidad del agua, en kg/m <sup>3</sup> (Ver apartado 4.5).	
$C_3$ : factor de confinamiento del flujo por efecto del fondo marino y la obra de atraque (adimensional). De acuerdo con mediciones realizadas en modelos experimentales, puede adoptarse 2.8 como valor de este factor cuando el eje de las hélices es perpendicular a la línea de atraque.	
Dentro del campo de validez establecido para esta formulación, puede considerarse que la máxima velocidad axial en el fondo marino debida a la corriente generada por hélices transversales a proa o popa se produce en la zona de contacto entre la obra de atraque y amarre y el fondo marino, siempre y cuando $l_h$ no sea mayor que $10h_h$ .	

Para la determinación de la máxima velocidad de la corriente en el fondo marino generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques se considerará que el factor predominante es la composición, características y situación de carga de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, con las embarcaciones auxiliares que, en su caso y de acuerdo con los criterios de explotación de la instalación, se utilicen para cada buque en cada condición de trabajo en las operaciones de atraque y desatraque o como parte de la configuración del sistema de amarre. Este factor se definirá, si es posible, a través de la función de distribución conjunta del calado estático y de las características del sistema de propulsión y maniobra utilizados por los buques y embarcaciones auxiliares durante dichas operaciones (Ver apartado 4.6.4.4.1).

Cuando la flota de buques esperable en el atraque esté formada por buques y embarcaciones auxiliares de características diferentes deberá definirse la variable “máxima velocidad horizontal de la corriente en el fondo marino” para cada buque y, en su caso, embarcación auxiliar, en las diferentes situaciones de carga de los mismos, en cada una de las condiciones de trabajo en las que se puede realizar la maniobra de atraque de atraque o desatraque o en las que embarcaciones auxiliares formen parte de la configuración del sistema de amarre del buque considerado. En este sentido, durante dichas operaciones el buque o embarcación de mayor calado no debe conducir necesariamente a la mayor corriente generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra en el fondo marino en la medida en que las características del sistema de propulsión y maniobra utilizado pueden ser más desfavorables a estos efectos en buques o embarcaciones de menor calado. De igual forma el desarrollo de la maniobra de atraque y desatraque con o sin medios auxiliares (remolcadores) puede ser relevante para la valoración de la potencia utilizada del sistema de propulsión durante la maniobra o, incluso, al poder producir los remolcadores mayores corrientes sobre el fondo marino que el propio buque <sup>(87)</sup>.

Si el Promotor de la instalación no está en condiciones de precisar de forma fiable, completa y suficiente la composición y características de la flota de buques esperable en el atraque o está definida por medio de un único parámetro representativo a través de las funciones de distribución marginales o de los buques de proyecto correspondientes a dicho parámetro, se estará a lo dispuesto para estos casos en el apartado 4.6.4.4.1 para asignar a cada

(87) Para la definición de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices de los remolcadores en el fondo marino no serán de aplicación las formulas simplificadas incluidas en la tabla 4.6.4.45 en lo referente a la estimación del diámetro de las hélices y del chorro, así como de la potencia instalada y utilizada en función del tamaño y tipo de buque. En ausencia de datos más precisos, los valores usuales en estos casos se incluyen en la ROM 3.1-99.

buque, en su caso, el calado estático en las situaciones de carga en la que puede encontrarse el buque en el atraque y sus otros parámetros representativos necesarios para la determinación de la variable de estado adoptada para la definición de este agente. En los casos en los que no estén específicamente definidas las características del sistema de propulsión y maniobra correspondiente a cada buque podrán estimarse de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.45 para la hélice de popa y, en su caso, para las hélices transversales en proa o popa. En ausencia de más información se considerará que están provistos de hélices transversales los buques que, en función del uso establecido para la obra de atraque, puedan ser de los siguientes tipos: portacontenedores, ro-ro, ferries y buques de guerra.

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación del modo de fallo adscrito a estados límite últimos “socavación, erosión y acumulación”, el agente “corrientes generadas por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques” se definirá:

**a) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas**

Para cada buque, y en su caso embarcación auxiliar para la realización de las maniobras de atraque y desatraque o para la permanencia del buque en el atraque, perteneciente a la flota esperable en el atraque y situación de carga del mismo, el valor representativo de la máxima velocidad de la corriente generada por la acción de las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra en el fondo marino en condiciones normales operativas se definirá como el valor más desfavorable obtenido introduciendo en la formulación incluida en la tabla 4.6.4.45 los valores representativos de cada uno de los factores que intervienen en la misma en cada una de las condiciones de trabajo operativas en las que se realizan operaciones de atraque y desatraque, así como en las correspondientes a la permanencia del buque en el atraque en aquellos casos en los que embarcaciones auxiliares formen parte de la configuración y características del sistema de amarre, considerando sucesivamente como variable predominante cada una de las variables de los agentes atmosféricos básicos y climáticos marinos que actúan simultáneamente en dichas condiciones de trabajo. La definición de las condiciones de simultaneidad y de los valores representativos compatibles de los agentes y factores en cada uno de dichas condiciones de trabajo se incluye en el apartado 4.1.1 y más detalladamente en los apartados 4.6.4.4.2, 4.6.4.4.3 y 4.6.4.4.7.

En general, salvo en los casos en los que las condiciones climáticas límite para la realización de las maniobras de atraque y desatraque adoptadas para el buque considerado se clasifiquen como desfavorables de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.36, así como cuando, considerando la participación de embarcaciones auxiliares como parte del sistema de amarre, las condiciones climáticas límite para la permanencia del buque en el atraque se clasifiquen como tipo III de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.45, será suficiente considerar a estos efectos como estado meteorológico representativo de cada condición de trabajo el correspondiente a la adopción del nivel inferior de las aguas exteriores como variable climática predominante, al tener en este caso muy poca incidencia los aumentos de calado del buque respecto a su calado estático por el efecto de la actuación de los otros agentes climáticos.

De acuerdo con ese criterio y en los casos en los que sea de aplicación, si un valor umbral del nivel bajo de las aguas exteriores está establecido como una de las causas de paralización de la instalación a los efectos de las operaciones de atraque o desatraque o, en su caso, de la permanencia del buque en el atraque, se adoptarán estos niveles para la definición de los valores representativos de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques en el fondo marino correspondientes a dichas condiciones de trabajo. Si el nivel inferior de las aguas exteriores no es causa de paralización de las citadas operaciones, el valor representativo del nivel inferior de las aguas exteriores a considerar para la definición del valor representativo de la máxima velocidad de la corriente en el fondo generada por el buque en condiciones de trabajo operativas será el valor de compatibilidad con el valor adoptado para los agentes climáticos que limitan la operatividad en cada una de las condiciones de trabajo operativas que deban considerarse.

En este último caso, deberá determinarse el valor representativo de la máxima velocidad de la corriente generada en el fondo también en condiciones de trabajo extremas y excepcionales, considerando el nivel inferior de las aguas exteriores como variable predominante para la definición del estado meteorológico de pro-

yecto en estas condiciones de trabajo (Ver acciones de atraque y acciones de amarre en condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario. Apartados 4.6.4.4.3. y 4.6.4.4.7). A estos efectos, para probabilidades de fallo menores o iguales al 5%, se adoptará como valor representativo del nivel bajo de las aguas exteriores en condiciones extremas el correspondiente a un periodo de retorno de 50 años y en condiciones excepcionales el correspondiente a un periodo de retorno de 500 años y como valores representativos del resto de agentes climáticos los valores de compatibilidad definidos respectivamente para cada una de dichas condiciones (ver tabla 4.6.2.2.), los cuales no deberán tomarse mayores que los umbrales de los mismos que, en su caso, hayan sido adoptados como límites de operatividad de las operaciones de atraque y desatraque y, en su caso, de permanencia del buque en el atraque.

El valor característico de la máxima velocidad horizontal de la corriente generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques en el fondo marino en cada condición de trabajo será el mayor de los valores representativos de la máxima velocidad de la corriente obtenidos en la condición de trabajo considerada, para cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga de los mismos, tomando en consideración, en su caso, las embarcaciones auxiliares que intervienen en las maniobra de atraque y desatraque o que formen parte de la configuración del sistema de amarre.

Los valores representativos de la máxima velocidad de la corriente generada en el fondo marino por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques y, en su caso, de las embarcaciones auxiliares en las condiciones de trabajo en que se realizan las operaciones de atraque y desatraque o, en su caso, durante la permanencia del buque en el atraque se resumen en la tabla 4.6.4.46.

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en una determinada condición de trabajo, cuando se tome en consideración la incidencia en los mismos de la profundidad de socavación debida a las corrientes generadas por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques, se tomará como valor representativo de dicha profundidad el determinado considerando como valor representativo de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques en el fondo marino su valor característico en la condición de trabajo considerada, definido de acuerdo con lo dispuesto en este apartado.

**Tabla 4.6.4.46. Valores representativos de la máxima velocidad para las corrientes generadas en el fondo marino por la acción de las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques y embarcaciones auxiliares durante las operaciones de atraque y desatraque o, en el caso de que se utilicen embarcaciones auxiliares como configuración del sistema de amarre, durante la permanencia del buque en el atraque (para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos o de servicio con probabilidades de fallo menores del 5%)**

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
En cada condición de trabajo, el mayor valor de la velocidad de la corriente generada por la acción de las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra en el fondo marino de entre las correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque en la condición de trabajo considerada, tomando en consideración, en su caso, las embarcaciones auxiliares que intervienen en las mismas. Los valores de dicha velocidad se obtendrán introduciendo en la formulación los valores representativos de cada uno de los factores y agentes que intervienen en la determinación de la misma, considerando los estados meteorológicos representativos correspondientes a los estados límite en dicha condición de trabajo.			—	—
En los casos en los que las condiciones climáticas límite para la realización de las maniobras de atraque y desatraque adoptadas para el buque considerado no se clasifiquen como desfavorables de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.36, así como cuando, considerando la participación de embarcaciones auxiliares como parte del sistema de amarre, las condiciones climáticas límite para la permanencia del buque en el atraque no se clasifiquen como tipo III de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.45, se considerará a estos efectos como estados meteorológicos representativos de cada condición de trabajo los definidos por los siguientes valores representativos del nivel inferior de las aguas exteriores:				

**Valores representativos de la máxima velocidad de la corriente generada en el fondo marino por la acción de las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques y embarcaciones auxiliares durante las operaciones de atraque y desatraque o, en el caso de que se utilicen embarcaciones auxiliares como configuración del sistema de amarre, durante la permanencia del buque en el atraque (para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos o de servicio con probabilidades de fallo menores del 5 %) (continuación)**

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR REPRESENTATIVO DEL NIVEL INFERIOR DE LAS AGUAS EXTERIORES A ADOPTAR	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes a la realización de las operaciones de atraque y desatraque en condiciones normales (CT1,3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>En los casos en los que esté establecido el nivel inferior de las aguas exteriores como causa de paralización de las operaciones de atraque y desatraque, se considerará el nivel inferior de las aguas exteriores como variable climático predominante, adoptándose como valor representativo de la misma el valor umbral del nivel inferior de las aguas exteriores límite de operatividad</li> <li>En los casos en los que no esté establecida esta variable como causa de paralización de las operaciones de atraque y desatraque, se adoptará como valor representativo del nivel inferior de las aguas exteriores el valor de compatibilidad con el valor adoptado para los agentes climáticos que limitan las operaciones de atraque y desatraque.</li> </ul>	—	—
Condiciones de Trabajo Normales Operativas correspondientes a la permanencia del buque en el atraque <sup>1)</sup> (CT1,1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>En los casos en los que esté establecido el nivel inferior de las aguas exteriores como causa de la suspensión de la permanencia del buque en el atraque, se considerará el nivel inferior de las aguas exteriores como variable climático predominante, adoptándose como valor representativo de la misma el valor umbral del nivel inferior de las aguas exteriores límite de operatividad</li> <li>En los casos en los que no esté establecida esta variable como causa de la suspensión de la permanencia del buque en el atraque, se adoptará como valor representativo del nivel inferior de las aguas exteriores el valor de compatibilidad con el valor adoptado para los agentes climáticos que limitan la permanencia del buque en el atraque.</li> </ul>	—	—
Condiciones de Trabajo Extremas <sup>2)</sup> (CT2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el caso en los que no esté establecido el nivel inferior de las aguas exteriores como causa de paralización de las operaciones de atraque y desatraque o, en su caso, de suspensión de la permanencia del buque en el atraque, el valor representativo del nivel inferior de las aguas exteriores será el correspondiente a un periodo de retorno de 50 años.</li> <li>En los casos en los que no esté establecida esta variable como causa de paralización de las operaciones de atraque y desatraque o, en su caso, de suspensión de la permanencia del buque en el atraque, pero otra variable de un agente del medio físico no sea causa de paralización de las citadas operaciones, el valor representativo del nivel inferior de las aguas exteriores será el valor de compatibilidad en esta condición de trabajo (periodo de retorno de 5 años si se considera el nivel de las aguas como agente independiente del que define el estado meteorológico extremal considerado).</li> </ul>	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario (CT3,1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el caso de que no esté establecido el nivel inferior de las aguas exteriores como causa de paralización de las operaciones de atraque y desatraque o, en su caso, de suspensión de la permanencia del buque en el atraque, el valor representativo del nivel inferior de las aguas exteriores será el correspondiente a un periodo de retorno de 500 años.</li> <li>En los casos en los que no esté establecida esta variable como causa de paralización de las operaciones de atraque y desatraque o, en su caso, de suspensión de la permanencia del buque en el atraque, pero otra variable de un agente del medio físico no sea causa de paralización de las citadas operaciones, el valor representativo del nivel inferior de las aguas exteriores será el valor de compatibilidad en esta condición de trabajo (probabilidad anual de no excedencia del 85% en el régimen medio).</li> </ul>		



**Valores representativos de la máxima velocidad de la corriente generada en el fondo marino por la acción de las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques y embarcaciones auxiliares durante las operaciones de atraque y desatraque o, en el caso de que se utilicen embarcaciones auxiliares como configuración del sistema de amarre, durante la permanencia del buque en el atraque (para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos o de servicio con probabilidades de fallo menores del 5 %) (continuación)**

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR REPRESENTATIVO DEL NIVEL INFERIOR DE LAS AGUAS EXTERIORES A ADOPTAR	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea agente climático extraordinario (CT3,2)	—	—	—
Condiciones de Trabajo Extremas o Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	—	—	—
<b>Notas</b> 1) La condición de trabajo operativa correspondiente a la permanencia del buque en el atraque se tomará únicamente en consideración en aquellos casos en los que se considere la permanencia del buque en el atraque con la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre. 2) Se considerará la condición de trabajo extrema y excepcional únicamente si el nivel inferior de las aguas exteriores u otra variable de un agente del medio físico no es causa de paralización de las operaciones de atraque y desatraque o, en su caso, de suspensión de la permanencia del buque en el atraque.			

#### a) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación, para cada tipo y situación de carga del buque, la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques en el fondo marino en las condiciones de trabajo que se consideren, se definirá por medio de la función de distribución obtenida como función derivada de las funciones de distribución de los factores de la que depende en la correspondiente condición de trabajo, obtenida a través de la aplicación de la formulación analítica incluida en la tabla 4.6.4.45 de esta Recomendación, tomando en consideración los factores incluidos en la formulación que pueden considerarse simplificadaamente que se comportan como deterministas y aquéllos que tienen relaciones de dependencia entre sí. Si no hay suficientes datos se considerará a estos efectos que todos los factores que intervienen en la formulación son deterministas, salvo el factor  $h_h$  (distancia vertical entre el eje de la hélice y el fondo marino). Son, por tanto, las características de variabilidad de este factor las que definen la variabilidad de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de un buque en el fondo marino.

En particular, en los casos en los que las condiciones climáticas límite para la realización de las maniobras de atraque y desatraque adoptadas para el buque considerado no se clasifiquen como desfavorables de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.36., así como cuando, considerando la participación de embarcaciones auxiliares como parte del sistema de amarre, las condiciones climáticas límite para la permanencia del buque en el atraque no se clasifiquen como tipo III de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.45, podrá considerarse simplificadaamente que la variabilidad del factor  $h_h$  en una condición de trabajo está definida por la variabilidad del nivel inferior de las aguas exteriores en dicha condición de trabajo. Es decir, para condiciones de trabajo operativas, por el régimen medio anual de dicha variable, truncado por el umbral de operatividad en el caso de que el nivel inferior de las aguas exteriores sea causa de paralización de las operaciones correspondientes a la condición de trabajo considerada, así como, en el caso de que sean de aplicación condiciones extremas y excepcionales asociadas al nivel inferior de las aguas exteriores por no ser esta variable causa de paralización operativa, por el régimen extremal.

En los casos en los que las condiciones climáticas límite para la realización de las maniobras de atraque y desatraque adoptadas para el buque considerado se clasifiquen como desfavorables, así como cuando, considerando la participación de embarcaciones auxiliares como parte del sistema de amarre, las condiciones climáticas límite para la permanencia del buque en el atraque se clasifiquen como tipo III, la función de distribución de  $h_h$  en condiciones de trabajo operativas se definirá a partir de los regímenes medios anuales marginales de cada variable del medio físico independiente y por las distribuciones de las variables dependientes condicionadas a cada valor de la variable de la que dependen, truncadas, en su caso, por los umbrales de operatividad establecidos para las mismas en la condición de trabajo considerada. De igual forma, cuando deban considerarse condiciones extremas y extraordinarias asociadas a una variable por no ser esta variable causa de paralización operativa, la función de distribución de  $h_h$  se definirá a partir del régimen extremal marginal de dicha variable, por los regímenes extremos de las variables independientes de ésta, truncados en su caso, por los límites de operatividad definidos para las condiciones de trabajo operativas, y por las distribuciones de las variables dependientes, condicionadas a cada valor de la variable de la que dependen.

En los casos en que pueda justificarse mediante estudios específicos (p.e. mediante modelos analíticos, numéricos, experimentales o en prototipo, análisis de experiencias reales, etc.) que la profundidad de socavación o la erosión del talud y las zonas de acumulación asociadas con dichos procesos están acotadas en un determinado rango de profundidades y con una determinada forma, para la flota esperable de buques en el atraque y en las condiciones de explotación establecidas para las maniobras de atraque y desatraque y, en su caso, para la permanencia en el atraque, no se considerará necesario, aunque sí recomendable, la incorporación de elementos específicos de protección. En los casos en los que no se incluyan elementos de protección, deberá tomarse en consideración la incidencia de dicha profundidad de socavación, de la forma de la erosión y de las alturas de acumulación cuando sean desfavorables, para la verificación de todos los modos de fallo y parada, en todas las condiciones de trabajo correspondientes a la fase de servicio, por medio de la definición de nuevos valores nominales para los parámetros geométricos del terreno y de la obra de atraque de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.2 de esta Recomendación <sup>(88)</sup>.

#### 4.6.4.4.5.2. Velocidad horizontal de la corriente en el fondo marino mínima

En previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de la obra de atraque y amarre y de las incorporaciones o mejoras previsibles en los sistemas de previsión y maniobra de algunas tipologías de buques durante la vida útil de la obra, así como de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, es recomendable que para las obras de atraque para **usos comerciales de contenedores, ro-ro, ferris y multipropósito y para usos militares, así como para usos industriales equivalentes a los comerciales citados**, se considere a los efectos de definir la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques en el fondo marino que los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque disponen todos de hélices transversales y que pueden utilizarlas como ayuda durante las maniobras de atraque y desatraque, con las limitaciones de potencia que, en su caso, pudieran establecer los criterios de explotación de la instalación. Lo anterior

(88) Las limitaciones actualmente existentes asociadas con la validez de los modelos analíticos disponibles para la cuantificación de la profundidad máxima de remoción del terreno de fondo por la acción de las corrientes generadas por los buques (ver apartado 4.2.3.7 de la ROM 0.5-05) y dadas las dificultades existentes para la reproducción y escalado de estos efectos con modelos físicos o para la extrapolación de experiencias reales o en prototipo a las condiciones de proyecto por la cantidad de factores que intervienen en el fenómeno, la determinación de una profundidad de socavación límite no progresiva debida a las corrientes generadas por hélices, asociada a un tipo de terreno, a una determinada flota de buques y a unas condiciones de explotación establecidas para el atraque y desatraque o para la permanencia del buque en el atraque, así como de la altura de acumulación relacionada con este proceso, está sujeta a muchas incertidumbres. Por dichas razones, salvo petición expresa del Promotor se recomienda no admitir socavaciones de fondo o erosiones de talud debidas a esta causa en las proximidades de las obras de atraque y, por tanto, el estricto cumplimiento del estado límite de socavación o erosión por hélices en las condiciones de trabajo que sean de aplicación (condición nominal de no fallo; es decir  $p_f < 10^{-4}$ ). En el caso de que estos efectos se admitieran por considerar su estabilización durante la vida útil, deberá incluirse en las condiciones de explotación de la instalación de atraque la realización periódica de sondeos para verificar que la profundidad de las socavaciones y la altura de las acumulaciones se encuentra en todo momento dentro de los límites considerados, procediéndose en caso contrario a la restauración de niveles.



se establece sin perjuicio de tener que tomar en consideración los efectos debidos a las hélices de los remolcadores en aquellos casos en los que los criterios de explotación de la instalación establezcan que las maniobras de atraque y desatraque o la permanencia del buque en el atraque se realicen con ayuda de remolcadores.

#### 4.6.4.4.6. ACCIONES DEBIDAS A LOS PORTALONES DEL BUQUE ( $q_{v,45}$ )

Estas acciones son las cargas transmitidas por los portalones de los buques tipo ro-ro, ro-pax, con-ro, ferries y transportadores de coches, situados bien a proa o popa, bien laterales o a  $\frac{3}{4}$  del buque, al apoyarse sobre las zonas de las obras de atraque y amarre, y particularmente de tacones y rampas auxiliares, establecidas para ello, cuando se realizan las operaciones de carga y descarga del buque por medios rodantes.

Estas acciones dependen fundamentalmente del tamaño y peso del portalón del buque, así como del tipo y características de la mercancía a manipular, de los elementos de transporte y de los medios de manipulación rodantes, en su caso, utilizados y de los criterios operativos establecidos para la carga y descarga del mismo, los cuales deben ser compatibles con la capacidad de carga admisible del portalón del buque (Safe Working Load-SWL).

Las acciones debidas a los portalones del buque pueden definirse como acciones vectoriales variables con las siguientes componentes:

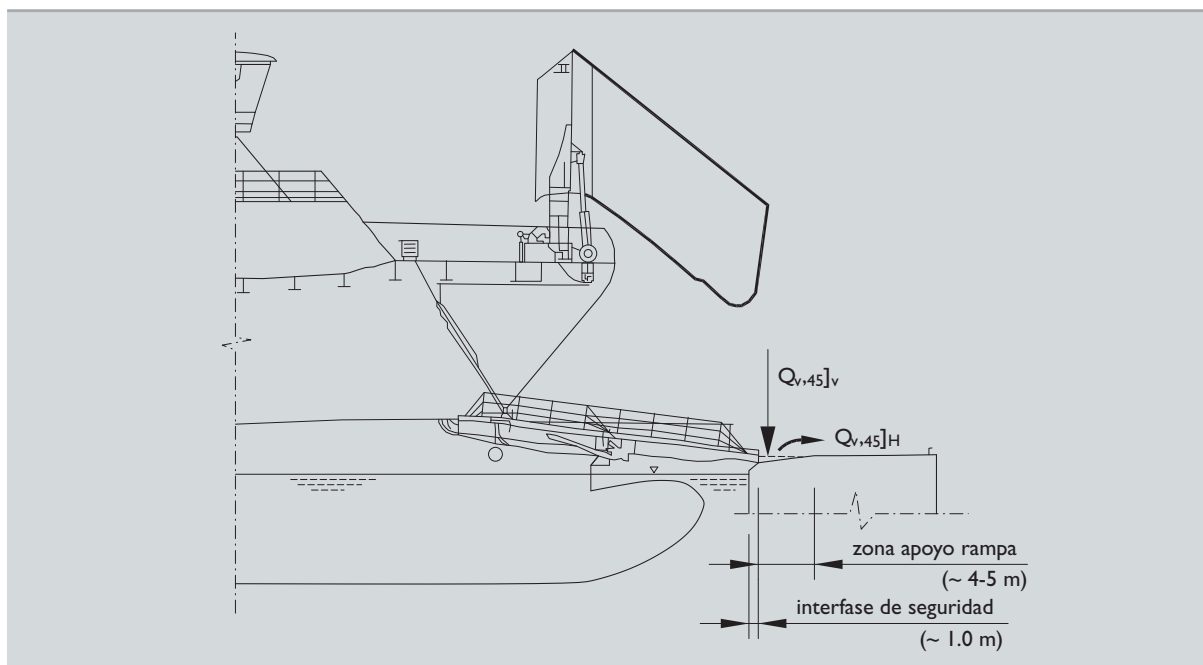
- ◆ Fuerza vertical lineal, contenida en el plano perpendicular al eje del portalón del buque en la zona de contacto entre el portalón del buque y la obra de atraque o el tacón o rampa auxiliar ( $Q_{v,45|V}$ ).
- ◆ Fuerza lineal debida al rozamiento que se produce entre la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar y el portalón del buque debida a los movimientos del buque atracado. Se considera aplicada en la superficie de contacto entre la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar y el portalón del buque. Dada la pendiente máxima recomendada para la zona reservada para el apoyo del portalón del buque en tacones y rampas auxiliares (12,5%), simplificada puede tomarse en consideración únicamente la componente horizontal de dicha fuerza ( $Q_{v,45|H}$ ). Esta fuerza de rozamiento se considerará de actuación simultánea con la fuerza vertical lineal y dependiente de la misma. Su dirección y sentido de actuación pueden ser cualquiera en el plano de actuación <sup>(89)</sup>.

Debido a las características de rigidez torsional de los portalones de los buques y a los movimientos admisibles de los buques durante las operaciones de carga y descarga, estas fuerzas no tienen que ser necesariamente uniformes en toda la zona de contacto entre el portalón del buque y la obra de atraque. No obstante, por las características resistentes, de rigidez y de sustentación exigidas por la normativa para los portalones de los buques, los cuales de acuerdo con la misma deben mantener apoyada en la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar la totalidad del extremo del mismo durante las condiciones de trabajo correspondientes a las operaciones de carga y descarga del buque, tomando en consideración su capacidad de carga y los máximos movimientos admisibles del buque en esta condición de trabajo (Ver tabla 4.6.4.22), se considerará en condiciones de trabajo normales operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga que las acciones debidas a los portalones del buque actúan sobre la totalidad del ancho de dicho portalón de una forma uniforme cuando se considera la máxima capacidad de carga admisible actuando sobre el portalón (Ver figura 4.6.4.28). Independientemente de lo anterior, para verificaciones de modos de fallo adscritos a estados límite últimos con probabilidades de fallo menores del 5%, deberá considerarse como condición de trabajo excepcional la posibilidad de que la actuación de la carga debida al portalón del buque sea trapezoidal, triangular o se distribuya en parte del ancho del mismo, incluso llegando en el límite a ser una carga puntual, en razón de la capacidad de torsión del portalón en relación con movimientos del buque o escoras extraordinarios por cualquier causa, supe-

(89) La definición de las acciones debidas a los portalones del buque como fuerzas lineales responden exactamente al funcionamiento de los portalones de proa y popa, así como de las rampas laterales, al transmitirse dichas cargas a través del apoyo del extremo de su estructura resistente, no contribuyendo los alerones (*flaps*) a la transmisión de cargas, con excepción de su propio peso. En el caso de los portalones  $\frac{3}{4}$  la transmisión de cargas se realiza a través de los alerones (*flaps*), por lo que las acciones debidas a los portalones no son en este caso cargas lineales sino cargas superficiales. No obstante, del lado de la seguridad, es admisible considerar simplificada también para este tipo de portalones que las acciones transmitidas por éstos son cargas lineales.

riores a los máximos admisibles para la realización de las operaciones de carga y descarga durante la realización de dichas operaciones.

**Figura 4.6.4.28. Definición de las acciones debidas a las rampas o portones del buque**



La presentación de las acciones debidas a portales del buque se tomarán en consideración en los estados representativos del ciclo de operatividad de la instalación de atraque correspondiente a las operaciones de carga y descarga cuando éstas se realicen por medios rodantes, así como en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de un acción accidental que no sea un agente climático extraordinario y en condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica. No se considerarán en ningún otro estado representativo de otras condiciones de trabajo operativas por razones de incompatibilidad operativa. Tampoco se tomarán en consideración en condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, salvo que no se limiten las operaciones de carga y descarga del buque para alguno de dichos agentes. En los citados ciclos de solicitud, estas acciones se considerarán de actuación simultánea con los agentes de uso y explotación presentes en los mismos, así como con los agentes climáticos que definen los estados meteorológicos correspondientes a la condición de trabajo considerada.

Las acciones debidas a portales del buque se considerarán cargas compuestas al ser dependientes de otros agentes, en particular del buque, de las cargas transmitidas por sistemas discontinuos de carga y descarga del buque por rodadura (Ver apartado 4.6.4.2.1.2) y del tráfico terrestre (Ver apartado 4.6.4.3), por lo que pueden considerarse que están correlacionadas con dichos agentes en las condiciones de simultaneidad y compatibilidad establecidas para los mismos en cada una de las condiciones de trabajo en las que se considera su actuación. Simplificadamente podrán considerarse independientes de los agentes climáticos. Para la determinación de esta acción se considerará que el factor predominante es la composición y características de la flota de buques previstas en el atraque, considerando como parámetros representativos de la misma la posición, dimensiones, peso y capacidad de carga admisible de sus portales, definidos por el Promotor de la instalación de acuerdo con lo señalado a estos efectos en el apartado 4.6.4.4.1. Definición de la flota de buques en el atraque. Buques de proyecto, una vez consultada la capacidad de carga de los portales de los buques esperables en el atraque <sup>(90)</sup>. El resto de agen-

(90) En general los portales de los buques llevan pintado en lugar visible la máxima carga admisible por eje y la máxima carga total admisible.

tes que intervienen en la determinación de la acción podrán considerarse a estos efectos en general independientes del buque, al ser normalmente los equipos de manipulación por rodadura establecidos por el Promotor para su utilización en todos y cada uno de los buques de la flota que admitan este sistema de manipulación por razones de eficacia y de eficiencia operativa de la instalación. Asimismo el Promotor normalmente establece con carácter general las limitaciones o restricciones, en su caso, al paso de un determinado tipo de tráfico terrestre. En caso contrario, estos agentes se considerarán dependientes del buque.

#### 4.6.4.4.6.1. Características de los portales de los buques

Para un misma tipología de buque (ro-ro, ferries, con-ro o transportadores de coches), las dimensiones, pesos y capacidad de carga admisible de los distintos tipos de portales de los que disponen los buques son muy variables, presentando correlaciones muy diversas con los parámetros geométricos (manga, calado, ...) o de capacidad (tonelaje, desplazamiento máximo, arqueado bruto, ...), aunque se han establecido algunas relaciones al respecto asociadas con determinadas probabilidades de no excedencia para portales situados en una misma posición en el buque (proa, popa, lateral o  $\frac{3}{4}$ ).

Para portales en popa, se puede considerar con carácter general, independientemente de la tipología del buque, la siguiente correlación entre manga ( $B$ ) y ancho total de la rampa o rampas ( $w_r$ ), aplicables a valores medios:

$$B - w_r = (4-12), \text{ para } w_r \text{ y } B \text{ en } m.$$

correspondiendo la mayor diferencia entre  $B$  y  $w_r$  a los buques a partir de 10.000 TPM y la menor a buques con menor tonelaje que el señalado o a buques que disponen de dos portales.

La longitud ( $l_r$ ) de este tipo de portales sin incluir los alerones (*flaps*) se encuentra generalmente en el rango entre 10 y 25 metros. La longitud de los alerones está en la mayor parte de los casos en el entorno de los 1,50-3,00 metros, estando los valores mayores asociados a los portales de mayor longitud.

Para los portales situados en otras localizaciones no es factible definir correlaciones generalizables. En general, el ancho de los portales laterales no suele ser superior a un carril (3,5 m). Los portales  $\frac{3}{4}$  presentan anchos muy variables a partir de 3,5 m y hasta del orden de los anchos comunes para los portales de popa que le corresponderían en relación al tamaño del buque. La longitud de este último tipo de portales suele ser mayor que la de los portales de popa (del orden de un 30% más).

El peso propio de los portales suele estar en el rango 3-4 kN/m<sup>2</sup>.

Salvo en los buques que permitan el embarque de tráfico ferroviario, la capacidad de carga admisible (SWL) de los portales de popa y proa es generalmente compatible con las cargas mínimas transmitidas por equipos sobre neumáticos, de movilidad no restringida, con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes establecidas en esta Recomendación para usos comerciales de mercancía general y pasajeros en los casos ro-ro, ferries y multipropósito (Ver apartado 4.6.4.2.1.2.1), así como con las cargas transmitidas por el tráfico viario (Ver apartado 4.6.4.3.1). Por tanto, la capacidad de carga admisible en este tipo de portales no suele ser menor de 800-1000 kN por cada carril del portalón dependiendo de la longitud del portalón (Ver nota 3).

No obstante lo anterior, la capacidad de carga admisible de los portales, independientemente de su localización, es generalmente coincidente con la mayor capacidad de carga de la cubierta del buque accesible a través de la misma. Por tanto son comunes capacidades de carga admisibles del orden de 20-30 kN/m<sup>2</sup> para los portales de buques que no permiten el embarque de tráfico ferroviario y de 50 kN/m<sup>2</sup> para los que sí lo permiten.

#### 4.6.4.4.6.2. Determinación de las acciones debidas a los portales del buque

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las acciones debidas a los portales del buque se definirán:

### a) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas

Para formulaciones deterministas y deterministas-probabilistas, los valores representativos de las acciones debidas a portalones del buque en los diferentes ciclos de sollicitación en los que se considere la actuación de esta acción se obtendrán a partir de los valores representativos de las dimensiones de los portalones de los buques de la flota esperable en el atraque, del peso propio del portalón de dichos buques, de las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes previstas por el Promotor de la instalación para dicho buque y de las acciones debidas al tráfico terrestre que sean de aplicación en el ciclo de sollicitación considerado. En cualquier caso, las sobrecargas de uso y explotación consideradas deberán ser compatibles con la capacidad de carga admisible (SWL) de los portalones de los buques.

#### ◆ Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos

- En condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado

Para cada tipo de buque esperable en el atraque, el valor representativo de la acción vertical debida a los portalones del buque en esta condición de trabajo se definirá como el valor más desfavorable para el elemento considerado y el modo de fallo analizado de la reacción vertical lineal producida por el portalón sobre la estructura de atraque, considerando las características resistentes y de sustentación del portalón en el buque, así como los valores representativos del peso propio del portalón (Ver apartado 4.6.1.1) y de las sobrecargas de manipulación de mercancías por rodadura o de tráfico terrestre que sean de aplicación en este ciclo de sollicitación, así como las condiciones de simultaneidad en función del número de carriles del portalón establecidos dependiendo del tipo de mercancía y de los equipos de manipulación previstos por el Promotor <sup>(91)</sup> y de las diferentes posiciones en las que estas sobrecargas pueden actuar en el portalón del buque (Ver apartados 4.6.4.2.1.2 y 4.6.4.3).

En este ciclo de sollicitación es admisible considerar que dicha reacción vertical lineal se reparte uniformemente a lo largo de todo el ancho del portalón del buque en la línea de contacto entre el mismo y la estructura de atraque. Para el cálculo de la reacción vertical, es admisible considerar que la rampa del buque se comporta como una viga biapoyada.

Si la capacidad de carga admisible del portalón del buque es conocida, simplifícadamente del lado de la seguridad, podrá considerarse que el valor representativo de la reacción vertical lineal uniforme ( $q_{v,45]V}$ ), extendida a lo largo de la anchura del portalón, es equivalente a la mitad de la resultante del valor representativo del peso propio del portalón ( $Q_{g,1]portalón}/2$ ) más la totalidad de la capacidad de carga admisible del portalón del buque ( $Q_{adm]portalón}$ ), cuando ésta esté definida por medio de la carga máxima por eje admisible. Es decir:

$$q_{v,45]V} = \frac{Q_{v,45]V}}{w_r} = \frac{\frac{Q_{g,1]portalón}}{2} + Q_{adm]portalón}}{w_r}$$

(91) El número de carriles a considerar en un portalón dependerá de las mercancías a manipular y de los equipos de manipulación por rodadura, así como de los criterios de explotación y circuitos de circulación previstos por el Promotor y de los requerimientos de seguridad establecidos. Como orden de magnitud, en función de la anchura total del portalón ( $w_r$ ) se considerarán el siguiente número de carriles:

- $w_r \leq 8,00$  m, un carril.
- $8,00 \text{ m} > w_r \leq 12,00$  m, dos carriles.
- $12,00 \text{ m} > w_r \leq 16,00$  m, tres carriles.
- $16,00 \text{ m} > w_r$ , cuatro carriles.

Si se considera únicamente la carga y descarga de vehículos automóviles, tanto en régimen de mercancía como de pasaje, podrán reducirse los valores superiores e inferiores de los anteriores intervalos en 1,00 m por carril. Asimismo cuando se prevea la utilización de carretillas elevadoras frontales para la carga y descarga de mercancías del buque, deberán aumentarse los valores inferiores y superiores de los anteriores intervalos en 8,00 m por carril.

Cuando la carga admisible esté definida a través de la carga máxima total admisible, la reacción máxima que transmite el portalón a la estructura por este concepto se obtendrá por aplicación del modelo de viga biapoyada, considerando la posición más desfavorable a estos efectos de dicha carga con la distribución correspondiente a las sobrecargas de manipulación y de tráfico terrestre consideradas. Cuando la carga admisible se define tanto a través de la carga máxima por eje como de la carga máxima total, se considerará la que da lugar a la reacción más desfavorable.

El valor representativo de la acción horizontal lineal debida a los portalones, de actuación simultánea con la acción vertical producida por los mismos, está correlacionado con el valor representativo adoptado para ésta última a través del coeficiente de rozamiento entre el portalón del buque y obra de atraque en la zona de contacto.

$$q_{v,45|H} = \mu_r \cdot q_{v,45|V}$$

Este coeficiente de rozamiento se considerará de carácter permanente y se definirá a través de un valor nominal. A falta de información más detallada, puede adoptarse de forma general 0,3 como valor nominal de dicho parámetro.

Las acciones lineales debidas a los portalones del buque deberán aplicarse en la posición más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado, manteniéndose en el interior de la zona de la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar reservada para el apoyo del portalón del buque. En el caso de los portalones de proa y popa, así como en el caso de los portalones laterales la dirección de aplicación será en cualquier caso paralela al cantil de la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar. En el caso de portalones  $\frac{3}{4}$ , la dirección de aplicación será la perpendicular al eje del portalón, considerando todas las posiciones que en su caso éste pueda tomar <sup>(92)</sup>.

Para los portalones de proa y popa, la zona reservada para el apoyo de la rampa del buque es generalmente una franja paralela al cantil o borde exterior de la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar con un ancho recomendable entre 4 y 5 metros, medido desde el borde interior de la interfase de seguridad (Ver figura 4.6.4.28). Para los portalones laterales y las rampas  $\frac{3}{4}$ , el ancho reservado para el apoyo del portalón del buque es como mínimo el recomendado para los portalones de proa y popa, aunque puede ser mayor (hasta 20 m), dependiendo de la longitud e inclinación del portalón y de la distancia entre la línea de atraque y la línea de defensas sin comprimir. En todos los casos el ancho recomendable para la interfase de seguridad es de 1 m, medido desde el borde exterior de la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar. En buques con portalones múltiples se considerará, en el caso que sea desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado, la simultaneidad de actuación de las cargas lineales debidas a cada uno de los portalones.

En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías por medios rodantes y las debidas al tráfico terrestre se consideren independientes de la flota de buques esperable en el atraque de acuerdo con los criterios de explotación establecidos por el Promotor de la instalación, así como en el caso de que el valor representativo de la acción debida a los portalones asociada con cada buque se defina simplíficamente a través de la capacidad de carga admisible, el valor de compatibilidad de las acciones debidas a los portalones del buque en la condición de trabajo operativa correspondiente al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado (valor de combinación) será el más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre los valores representativos de dichas acciones asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, considerando las otras acciones de actuación simultánea en dicha condición de trabajo dependientes del buque (p. e. cargas de amarre) <sup>(93)</sup>. Para un determinado tipo de portalón

(92) En los portalones  $\frac{3}{4}$  que no permitan cambios de dirección, el ángulo entre el eje del portalón y el eje longitudinal del buque suele estar en el rango 30°-40°.

(93) El valor de combinación de las acciones debidas a los portalones del buque y de las cargas de amarre en condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga deben estar asociadas con el mismo buque.

del buque, el valor de combinación de esta acción no tiene que estar necesariamente asociado con el buque de mayor desplazamiento de la flota esperable en el atraque, ya que buques de menor capacidad pueden tener portalones que transmitan mayores cargas en la medida en que la combinación de las dimensiones y peso del portalón y su capacidad de carga pueden ser más desfavorables en buques de menor tamaño.

En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías y las debidas al tráfico terrestre sean dependientes del buque, el valor de compatibilidad de las acciones debidas a los portones y el de las cargas de manipulación y tráfico deberán estar asociadas con el mismo buque, siendo éste el que tiene asociadas las cargas de actuación simultánea que producen los efectos más desfavorables para el elemento y modo de fallo considerado.

- *En condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de un agente climático de carácter extraordinario*

Únicamente se considerarán acciones debidas a portalones del buque en condiciones de trabajo extremas o excepcionales asociadas con la presentación de un determinado agente climático cuando las operaciones de carga y descarga por medios rodantes de alguno de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque no queden limitadas a partir de valor umbral de dicho agente.

El valor de compatibilidad de esta acción en estas condiciones de trabajo (valor de combinación) será el mismo que el adoptado para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, tomando en consideración únicamente los buques de la flota esperable en el atraque cuyas operaciones de carga y descarga no queden limitadas a partir de un valor umbral del agente climático que define las condiciones extremas y excepcionales consideradas.

- *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de las acciones debidas a los portalones del buque de carácter extraordinario*

En previsión de posibles apoyos desiguales del portalón del buque debidos, entre otras causas, a la presentación de movimientos o escoras del buque extraordinarios por cualquier causa, superiores a los máximos admisibles para la realización de las operaciones de cargas y descarga durante la realización de dichas operaciones, para verificaciones de modos de fallo con probabilidades menores del 5% deberá considerarse como condición de trabajo excepcional la posibilidad de que la carga debida al portalón del buque sea una carga puntual concentrada. Para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo mayores o iguales al 5% no se considerará esta condición de trabajo.

Esta carga es la acción predominante de la condición de trabajo excepcional asociada con su actuación, definiendo un estado límite de proyecto.

Para cada tipo de buque esperable en el atraque, el valor representativo de las acciones debidas a los portalones del buque de carácter extraordinario se definirá a partir del valor representativo de las acciones debidas a los portalones del buque en condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, multiplicando dicho valor por el ancho total del portalón o portalones del buque considerado ( $w_r$ ).

En el caso de que la capacidad de carga admisible del portalón del buque sea conocida y esté definida por medio de la carga máxima por eje admisible, podrán considerarse simplíficamente como valores representativos de las acciones debidas a los portalones del buque de carácter extraordinario correspondientes a dicho buque los siguientes:

$$Q_{v,45]V|extraordinario} = \frac{Q_{g,1]portalón}}{2} + Q_{adm]portalón}; \quad Q_{v,45]H|extraordinario} = \mu_r \cdot Q_{v,45]V|extraordinario}$$

Cuando la carga admisible esté definida a través de la máxima carga total admisible, la reacción puntual que transmite el portalón a la estructura por este concepto se obtendrá por aplicación del modelo de viga biapoyada, considerando la posición más desfavorable a estos efectos de dicha carga con la distribución correspondiente a las sobrecarga de manipulación y de tráfico terrestre consideradas. Cuando la carga admisible se define tanto a través de la carga máxima por eje como de la carga máxima total, se considerará la que da lugar a la reacción más desfavorable.

Las acciones concentradas debidas a los portalones del buque de carácter extraordinario se aplicarán en la posición más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado, manteniéndose en el interior de la zona de la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar reservada para el apoyo del portalón del buque de igual forma que lo dispuesto a estos efectos para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado.

En buques con portalones múltiples se considerará, en el caso de que sea desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado, la simultaneidad de actuación de las cargas concentradas correspondientes a cada uno de los portalones.

El valor característico de las acciones debidas a los portalones de buque en esta condición de trabajo extraordinaria será el valor más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre los valores representativos de dichas acciones en dicha condición de trabajo asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque.

- *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico*

Para cada tipo de buque esperable en el atraque, el valor representativo de la acción vertical debida a los portalones del buque en esta condición de trabajo se definirá como el valor más desfavorable para el elemento considerado y el modo de fallo analizado de la reacción vertical lineal producida por el portalón sobre la estructura de atraque, considerando las características resistentes y de sustentación del portalón del buque, el valor representativo del peso propio del portalón y el valor cuasi-permanente de las sobrecargas de manipulación de mercancías por rodadura o de tráfico terrestre que se consideren de acuerdo con los criterios de explotación establecidos por el Promotor, así como las condiciones de simultaneidad en función del número de carriles del portalón y de las diferentes posiciones en las que estas sobrecargas pueden actuar en el portalón del buque. La definición del valor cuasi-permanente de las sobrecargas de manipulación de mercancías por rodadura y de las cargas de tráfico se incluye, respectivamente, en los apartados 4.6.4.2.1.2 y 4.6.4.3 de esta Recomendación.

En este ciclo de sollicitación es admisible considerar que dicha reacción vertical lineal se reparte uniformemente a lo largo de todo el ancho de la rampa del buque de igual forma que lo dispuesto al respecto para condiciones de trabajo operativas correspondiente al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado.

Si la capacidad de carga admisible del portalón del buque es conocida y está definida por medio de la carga máxima por eje admisible, podrá considerarse simplificada que el valor representativo de la reacción vertical uniforme producida por la rampa del buque en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático o sísmico es:

$$Q_{v,45}]V|condiciones\ de\ trabajo\ excepcionales\ por\ acción\ accidental = \frac{\frac{Q_{g,1}]portalón}{2} + 0,90 \cdot Q_{adm}]portalón}{w_r}$$



Cuando la carga admisible esté definida a través de la carga máxima total admisible la contribución de ésta al valor cuasipermanente de la reacción vertical uniforme se obtendrá por aplicación del modelo de viga biapoyada al 90% de dicha carga, considerando la posición más desfavorable a estos efectos de dicha carga con la distribución correspondiente a las sobrecargas de manipulación y de tráfico terrestre consideradas. Cuando la carga admisible se define tanto a través de la carga máxima por eje como de la carga máxima total, se considerará la que da lugar a la reacción más desfavorable.

El valor representativo de la acción horizontal lineal debida a los portalones del buque en esta condición de trabajo, de actuación simultánea con la acción vertical producida por las mismas, estará igualmente correlacionado con el valor representativo adoptado para esta última acción por medio del coeficiente de rozamiento entre el portalón del buque y la obra de atraque en la zona de contacto ( $\mu_r$ ).

Los criterios de aplicación de esta acción en esta condición de trabajo excepcional son idénticos a los establecidos para la misma en condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado.

El valor de compatibilidad de las acciones debidas a los portalones del buque en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico (valor cuasi-permanente) será el más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre los valores representativos de dichas acciones en esta condición de trabajo asociados con cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, considerando las otras acciones de actuación simultánea en dicha condición de trabajo dependientes del buque.

En el caso de que las cargas de manipulación de mercancías y las debidas al tráfico terrestre sean dependientes del buque, el valor de compatibilidad de las acciones debidas a los portalones y el de las cargas de manipulación y tráfico en esta condición de trabajo deberán estar asociadas con el mismo buque, siendo éste el que tiene asociadas las cargas de actuación simultánea que producen los efectos más desfavorables para el elemento y modo de fallo considerado.

■ *En condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica*

El valor de compatibilidad de las acciones debidas a los portalones del buque en condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica será el valor cuasipermanente, obtenido de acuerdo con lo señalado en el epígrafe anterior.

Los valores representativos de las acciones verticales debidas a los portalones del buque para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos se resumen en la tabla 4.6.4.47.

◆ *Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio*

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que intervengan acciones debidas a los portalones del buque y el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación sea la combinación poco probable o fundamental, será de aplicación lo dispuesto para los valores de combinación de dicha acción en el epígrafe correspondiente a la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos para condiciones de trabajo operativas y extremas, considerando el valor que le corresponda en función de la condición de trabajo considerada. Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente se adoptarán como valores representativos de las



acciones debidas a los portalones del buque los valores cuasi-permanentes definidos en el citado epígrafe (Ver tabla 4.6.4.47).

◆ *Para la verificación de modos de parada operativa*

Las acciones debidas a los portalones del buque no tienen una incidencia directa en la verificación del modo de parada operativa correspondiente a la paralización de las operaciones de carga y descarga del buque al ser acciones dependientes del buque, de los sistemas discontinuos de carga y descarga por rodadura y de las cargas de tráfico, los cuales condicionan los valores umbral de las variables de los agentes atmosféricos y climáticos marinos, así como de los agentes operativos, que dan lugar a la suspensión de las operaciones de carga y descarga del buque atracado (Ver apartado correspondiente a la definición de las condiciones límite de operatividad para la realización de las operaciones de carga y descarga del buque por medios rodantes).

**Tabla 4.6.4.47. Valores representativos de las acciones verticales debidas a los portalones del buque (Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos)**

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR DE COMBINACIÓN
Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes al estado límite realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado (CT1,2)	<p>– En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías por medios rodantes y las debidas al tráfico terrestre se consideren independientes de la flota de buques esperable en el atraque</p> <p>El valor más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre los valores representativos de la acción en la condición de trabajo asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, considerando las otras acciones de actuación simultánea dependientes del buque. Siendo el valor representativo de la acción correspondiente a cada buque en la condición de trabajo el valor más desfavorable para el elemento considerado y el modo de fallo analizado de la reacción vertical lineal producida por el portalón sobre la estructura de atraque considerando las características resistentes y de sustentación del portalón, así como los valores representativos del peso propio del portalón y de las sobrecargas de manipulación de mercancías por rodadura o de tráfico terrestre que sean de aplicación en el ciclo de solicitud, así como las condiciones de simultaneidad en función del número de carriles de la rampa y de las diferentes posiciones que estas sobrecargas pueden actuar en el portalón del buque.</p> <p>– En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías por medios rodantes y las debidas al tráfico terrestre se consideren dependientes del buque</p> <p>El valor representativo de la reacción vertical lineal correspondiente al buque que tiene asociadas las cargas de actuación simultánea dependientes del buque que producen los efectos más desfavorables para el elemento y modo de fallo considerados.</p>
Condiciones de Trabajo Extremas o Excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario (CT2 y CT3,1)	<p>– Idéntico valor al adoptado para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, tomando en consideración únicamente los buques de la flota esperable en el atraque cuyas operaciones de carga y descarga no queden limitadas a partir de un valor umbral del agente climático que define las condiciones extremas y excepcionales consideradas.</p>
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de las acciones debidas a los portalones del buque de carácter extraordinario (CT3,2) <sup>2)</sup>	<p>El valor más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre los valores representativos de la acción en la condición de trabajo asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque. Siendo el valor representativo de la acción debida a los portalones del buque de carácter extraordinario correspondiente a cada buque (carga concentrada) el obtenido a partir del valor representativo definido para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, multiplicándolo por el ancho total del portalón o portalones del buque considerado (<math>w_r</math>)</p>

**Valores representativos de las acciones verticales debidas a los portalones del buque  
(Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos) (continuación)**

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico (CT3,2)	<p>– En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías por medios rodantes y las debidas al tráfico terrestre se consideren independientes de la flota de buques esperable en el atraque</p> <p>El valor más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre los valores representativos de la acción en la condición de trabajo asociados con cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, considerando las otras acciones de actuación simultánea dependientes del buque. Siendo el valor representativo de la acción en esta condición de trabajo correspondiente a cada buque, el valor más desfavorable para el elemento considerado y el modo de fallo analizado de la reacción lineal producida por el portalón sobre la estructura de atraque, considerando las características resistentes y de sustentación del portalón del buque, el valor representativo del peso propio del portalón y el valor cuasi-permanente de las sobrecargas de manipulación de mercancías por rodadura o de tráfico terrestre que sean de aplicación, así como las condiciones de simultaneidad en función del número de carriles del portalón y de las diferentes posiciones en las que estas sobrecargas pueden actuar en el portalón del buque.</p> <p>– En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías por medios rodantes y las debidas al tráfico terrestre se consideren dependientes del buque</p> <p>El valor representativo de la reacción vertical lineal en esta condición de trabajo correspondiente al buque que tiene asociadas las cargas de actuación simultánea dependientes del buque que producen los efectos más desfavorables para el elemento y modo de fallo considerados.</p>
Condiciones de Trabajo Extremas y Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	<p>– En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías por medios rodantes y las debidas al tráfico terrestre se consideren independientes de la flota de buques esperable en el atraque</p> <p>El valor más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre los valores representativos de la acción en la condición de trabajo asociados con cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, considerando las otras acciones de actuación simultánea dependientes del buque. Siendo el valor representativo de la acción en esta condición de trabajo correspondiente a cada buque, el valor más desfavorable para el elemento considerado y el modo de fallo analizado de la reacción lineal producida por el portalón sobre la estructura de atraque, considerando las características resistentes y de sustentación del portalón del buque, el valor representativo del peso propio del portalón y el valor cuasi-permanente de las sobrecargas de manipulación de mercancías por rodadura o de tráfico terrestre que sean de aplicación, así como las diferentes posiciones en las que estas sobrecargas pueden actuar en la rampa del buque.</p> <p>– En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías por medios rodantes y las debidas al tráfico terrestre se consideren dependientes del buque</p> <p>El valor representativo de la reacción vertical lineal en esta condición de trabajo correspondiente al buque que tiene asociadas las cargas de actuación simultánea dependientes del buque que producen los efectos más desfavorables para el elemento y modo de fallo considerados.</p>
<b>Notas</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>Únicamente se considerarán acciones debidas a los portalones del buque en condiciones de trabajo extremas o excepcionales asociadas con la presentación de un determinado agente climático cuando las operaciones de carga y descarga por medios rodantes de alguno de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque no queden limitadas a partir de un valor umbral de dicho agente.</li> <li>Únicamente se considerará esta condición de trabajo para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo menores o iguales al 5%.</li> <li>Los valores representativos de la acción horizontal debida a los portalones del buque de actuación simultánea con la acción vertical producida por los mismos están correlacionados con el valor representativo adoptado para la acción vertical por medio del coeficiente de rozamiento entre el portalón del buque y la obra de atraque en la zona de contacto (<math>\mu_r</math>). Este coeficiente se considera de carácter permanente y se define a través de un valor nominal. A falta de información más detallada, puede adoptarse de forma general 0,30 como valor nominal de dicho parámetro.</li> </ol>	

**b) Para formulaciones probabilistas**

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación, la definición de la acción debida a los portalones correspondiente a un buque determinado en cada uno de los ciclos de sollicitación considerados se realizará a partir de las funciones de distribución en dicho ciclo de las variables de las que depende, particularmente de la funciones de distribución de las cargas transmitidas por los equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga por medios rodantes, así como de las cargas de tráfico viario y, en su caso, de tráfico ferroviario, a través de la relaciones funcionales que relacionan el peso propio del portalón y las sobrecargas actuantes sobre la misma con la reacciones producidas por la rampa sobre la estructura de atraque en dicho ciclo de sollicitación. Dichas funciones de distribución se definen, respectivamente en los apartados 4.6.4.2.1.2, 4.6.4.3.1 y 4.6.4.3.2.

Las funciones de distribución de las cargas transmitidas por los equipos de manipulación por medios rodantes, así como las cargas de tráfico terrestre, serán las funciones de distribución marginales de dichas acciones en el caso de que éstas sean independientes del buque. En caso contrario serán las funciones de distribución condicionadas a cada tipo de buque. En todos los casos el peso propio del portalón podrá considerarse que se introduce en la relación funcional a través de su valor representativo (valor nominal).

#### 4.6.4.4.6.3. Cargas mínimas debidas a los portalones del buque

Sin perjuicio de la determinación de las acciones debidas a los portalones del buque de acuerdo con los procedimientos establecidos en esta Recomendación, en previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de la obra de atraque y amarre durante su vida útil o de incertidumbres que pudieran producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra tanto en lo que respecta a la flota de buques esperable en el atraque como en los equipos inicialmente previstos por el Promotor para la carga y descarga, así como para compatibilizar las acciones debidas a los portalones con las cargas mínimas establecidas en esta Recomendación para las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de cargas y descarga del buque por medios rodantes y por las cargas del tráfico terrestre, es recomendable que se adopten los siguientes valores representativos mínimos para las acciones debidas a los portalones del buque en las obras de atraque y amarre en las áreas de operación correspondientes a usos comerciales de mercancía general y pasajeros en los casos ro-ro, ferries y multipropósito:

- ◆ *Valor de combinación para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado*

$$q_{v,45|V} = 200 \text{ kN/m}$$

$$q_{v,45|H} = 60 \text{ kN/m}$$

- ◆ *Valor de combinación para condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario <sup>(94)</sup>*

$$q_{v,45|V} = 200 \text{ kN/m}$$

$$q_{v,45|H} = 60 \text{ kN/m}$$

- ◆ *Valor característico para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de las acciones debidas a los portalones del buque de carácter extraordinario <sup>(95)</sup>*

$$Q_{v,45|V\text{extraordinario}} = 200 \cdot (B_{\max} - a), \text{ en kN}$$

$$Q_{v,45|H\text{extraordinario}} = 60 \cdot (B_{\max} - a), \text{ en kN}$$

Siendo:

$B_{\max}$  la mayor manga de entre los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, expresada en m.

$a$  : 12 m si  $B_{\max}$  está asociada a un buque con tonelaje de peso muerto mayor de 10.000 TPM.

4 m si  $B_{\max}$  está asociada a un buque con tonelaje de peso muerto menor o igual de 10.000 TPM o a un buque con portalones múltiples.

(94) Únicamente se considerarán acciones debidas a los portalones del buque en condiciones extremas o excepcionales asociadas con la presentación de un determinado agente climático cuando las operaciones de carga y descarga por medios rodantes de alguno de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque no queden limitadas a partir de un valor umbral de dicho agente.

(95) Únicamente se considerará esta acción de trabajo para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo menores o iguales al 5%.

- ◆ *Valor cuasi-permanente para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario, así como para condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica*

$$q_{v,45} | V | \text{condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental o sísmica} = 180 \text{ kN/m}$$

$$q_{v,45} | H | \text{condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental o sísmica} = 55 \text{ kN/m}$$

Las condiciones de aplicación de las acciones debidas a los portalones del buque cuando se consideren los valores representativos mínimos correspondientes a cada condición de trabajo serán idénticas que las establecidos en el apartado 4.6.4.4.6.2. a) para el caso equivalente dependiendo del tipo de portalón (portalón de proa o popa, portalón  $\frac{3}{4}$  o portalón lateral) que puede apoyarse en la obra de atraque analizada tomando en consideración la configuración del atraque de los buques en relación a dicha obra. La longitud de aplicación de las cargas lineales será aquélla que produzca el efecto más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado, no siendo menor de 4.5 m.

#### 4.6.4.4.7. ACCIONES DE AMARRE ( $q_{v,46}$ )

Las acciones de amarre son las cargas transmitidas por el buque a la estructura de atraque y amarre cuando permanece en el puesto de atraque amarrado; es decir, con máquina parada y con sus movimientos restringidos como flotador libre por un sistema de amarre y defensas dentro de los límites requeridos para garantizar su seguridad y la de otros buques e instalaciones en todas las condiciones climáticas y operativas de trabajo establecidas para la permanencia del buque en el atraque y para que puedan desarrollarse las operaciones portuarias de carga, descarga, estiba, desestiba y trasbordo de mercancías y vehículos o de embarque y desembarque de pasajeros de acuerdo con los sistemas de manipulación adoptados. Dicha transmisión de cargas se realiza a través del contacto directo entre el buque y el sistema de atraque (estructura de atraque y sistema de defensas) y/o indirectamente a través de las líneas de amarre tensionadas utilizadas para la limitación de movimientos.

También se considerarán como cargas de amarre aquéllas transmitidas por las líneas de amarre durante las maniobras de atraque y desatraque cuando se utilicen como elementos auxiliares en dichas operaciones.

Los agentes que actúan sobre el buque amarrado que tienen incidencia para el establecimiento del adecuado sistema de amarre capaz de resistir sus efectos, manteniendo simultáneamente los movimientos del buque en valores admisibles y, en función de ambos, para la valoración de las acciones de amarre, son tanto climáticos ( $q_{fc}$ ) como debidos a las operaciones de buques ( $q_{v,4}$ ). Los principales agentes que deben tomarse en consideración a estos efectos son:

- ◆ Agentes climáticos atmosféricos y marinos

- Viento ( $q_{fc,2}$ )
- Corriente ( $q_{fc,5}$ )
- Niveles de agua asociados a mareas y regímenes fluviales ( $q_{fc,61}$ )
- Ondas largas ( $q_{fc,62}$ )
- Oleaje ( $q_{fc,63}$ )
- Hielo ( $q_{fc,33}$ )

- ◆ Agentes debidos a operaciones de buques

- Efectos hidrodinámicos inducidos por el paso de un buque navegando ( $q_{v,41}$ )
- Corrientes generadas por los sistemas de propulsión, así como fuerzas inducidas sobre el buque por los remolcadores que formen parte eventualmente de la configuración del sistema de amarre ( $q_{v,44}$ )
- Cambios de los parámetros geométricos del buque (calado, francobordo, ...), asientos y escoras causados por las modificaciones en las condiciones de carga del buque durante las operaciones de manipulación de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros ( $q_{v,42}$ ).

Las acciones de amarre asociadas a un buque y puesto de atraque pueden definirse como acciones vectoriales variables aplicadas en:

- ◆ Cada una de las líneas de amarre ( $Q_{v,46,m}$ )
- ◆ Cada una de las defensas ( $Q_{v,46,f}$ )

En un estado meteorológico, cada una de las acciones en las líneas de amarre puede considerarse como una acción variable de carácter oscilatorio formada por una componente cuasi-estática u oscilatoria de periodo largo y por unas componentes de fluctuación con periodos mucho más bajos (generalmente entre 10 y 30 s). Las amplitudes y periodos de ambas componentes son función de las características del buque, de las cargas actuantes sobre el mismo y de la tipología, disposición, dimensiones, características resistentes y de comportamiento de los sistemas de atraque y amarre (estructura de atraque + defensas + líneas de amarre), así como de las condiciones tensionales iniciales del sistema de amarre. Para cada situación de carga del buque, puede considerarse que la manifestación estacionaria de los agentes que actúan sobre el buque define así mismo la estacionariedad de las cargas sobre las líneas de amarre. En este sentido, puede considerarse que las cargas sobre las líneas de amarre son variables aleatorias estadísticamente estacionarias en los estados meteorológicos (ver apartado 4.6.2) o en los estados operativos transitorios en los que se presentan efectos hidrodinámicos inducidos por el paso de buques en tránsito (ver apartado 4.6.4.4.2.1) u otros agentes. En dichos estados, las acciones en las líneas de amarre pueden describirse de forma equivalente al agente viento (Ver ROM 0.4-95), considerándose compuestas simplificadaamente por una componente media constante (carga media asociada a un tiempo de registro considerado a estos efectos como significativo [como mínimo del orden de 30 min en los estados meteorológicos y valores menores en los estados operativos transitorios]) y por una componente aleatoria de fluctuación estacionaria alrededor de dicho valor (Ver figuras 4.6.4.29), que puede ser descrita mediante modelos de probabilidad de sus variables básicas, amplitud y periodo, y sus parámetros estadísticos representativos asociados (variables de estado) o bien mediante un modelo frecuencial, obteniendo el correspondiente espectro (Ver figura 4.6.4.30). A los efectos de esta Recomendación, las variables de estado representativas para la definición de este agente son la carga media, el valor significativo de la amplitud de la componente de fluctuación de la carga o de los máximos secuenciales de la misma (valores en cresta), la carga máxima más probable, la carga mínima más probable, el periodo de pico y los periodos dominantes para los rangos de baja y alta frecuencias de la componente de fluctuación (Ver figuras 4.6.4.29 y 4.6.4.30).

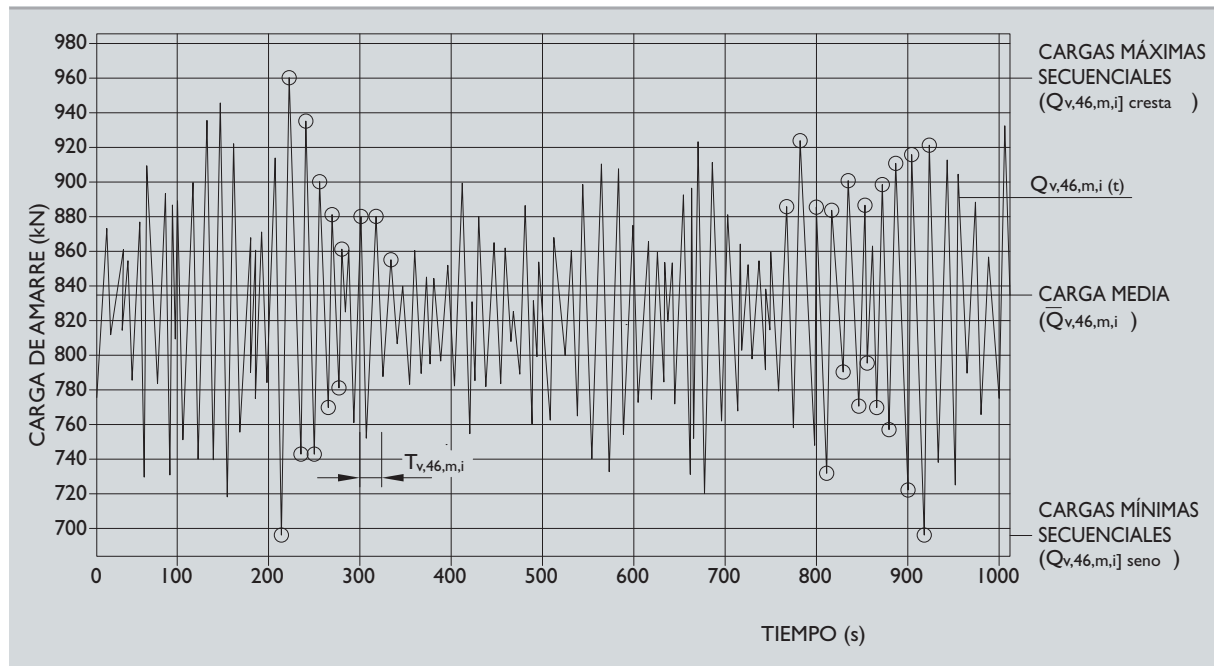
En un estado meteorológico u operativo transitorio, cada una de las acciones en las defensas puede considerarse como una acción variable de carácter impulsivo, cuya serie temporal está constituida por una sucesión discontinua de fuerzas producidas por impactos de corta duración causados por los sucesivos ciclos de compresión-descompresión que se producen en las defensas debidos a los movimientos del buque amarrado (Ver figura 4.6.4.31.a) o bien como una acción variable de carácter oscilatorio cuando las defensas se mantienen en todo momento comprimidas en el estado de proyecto considerado (Ver figura 4.6.4.31.b). Las características de estas cargas son dependientes de los mismos factores que los señalados para las acciones en las líneas de amarre. Para cada situación de carga del buque, puede igualmente considerarse que la manifestación estacionaria de los agentes que actúan sobre el buque define la estacionariedad de las componentes de las acciones de amarre sobre las defensas. Es decir, puede también considerarse que las cargas sobre las defensas en situación de buque amarrado son estadísticamente estacionarias en los estados meteorológicos o en los estados operativos transitorios en los que se presentan ondas generadas por buques navegando u otros agentes operativos. En dichos estados, las acciones de amarre sobre las defensas pueden describirse mediante variables de estado como el valor significativo de las cargas máximas secuenciales o la carga máxima más probable cuando están sometidas a ciclos de compresión-descompresión o con parámetros equivalentes a las acciones sobre las líneas de amarre cuando se mantienen comprimidas (valores significativos, carga máxima más probable, carga mínima más probable, periodos de pico y periodos dominantes).

No obstante lo anterior, en aquéllos estados de proyecto que tengan una menor escala temporal de estacionariedad (p.e. el estado sísmico), las cargas de amarre, tanto sobre las líneas de amarre como sobre las defensas, tendrán la consideración de permanentes de acuerdo con la acepción dada a este término en el apartado 4.1 de esta Recomendación, de igual forma que el resto de agentes climatológicos u operativos en dicho estado.

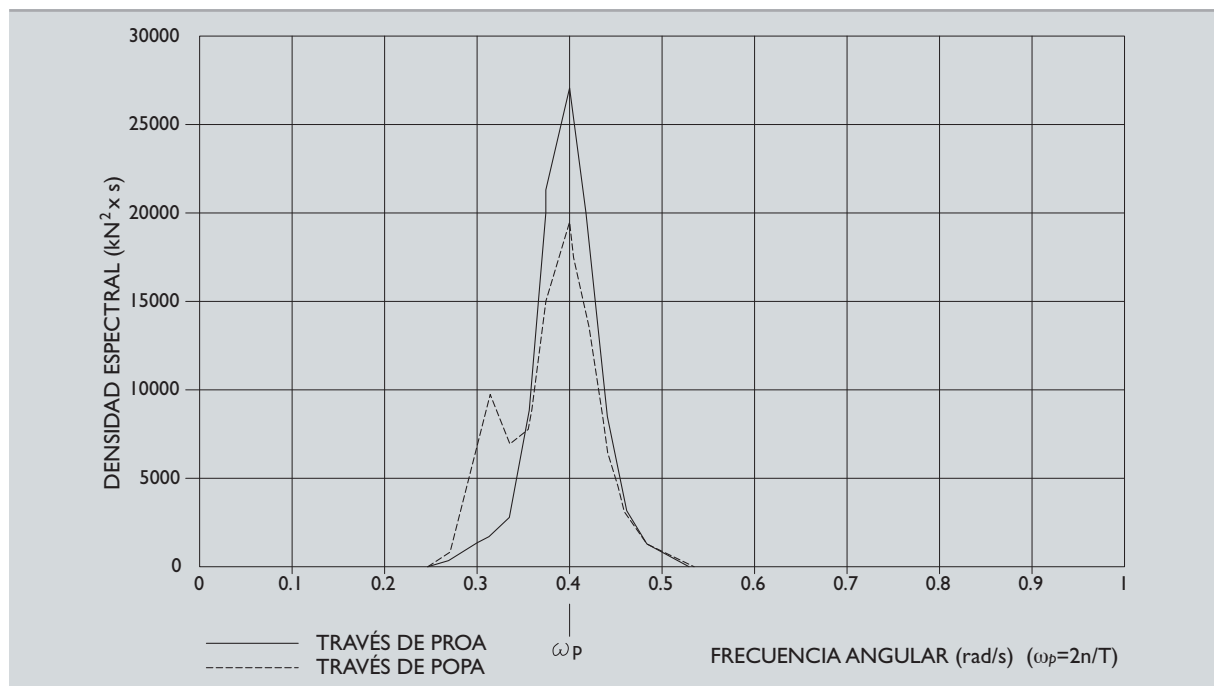
Las direcciones de actuación de las cargas de amarre sobre los puntos de amarre se considerarán coincidentes con la de las líneas de amarre, siendo por tanto, función de las características del buque y de la configuración del sistema de amarre en cada estado, en particular en relación con la situación en planta y alzado de los puntos

de amarre. La componente de las cargas de amarre sobre las defensas se considerará compuesta por una componente perpendicular al frente de atraque y por una fuerza de rozamiento contenida en la superficie de contacto entre el sistema de atraque y el casco del buque.

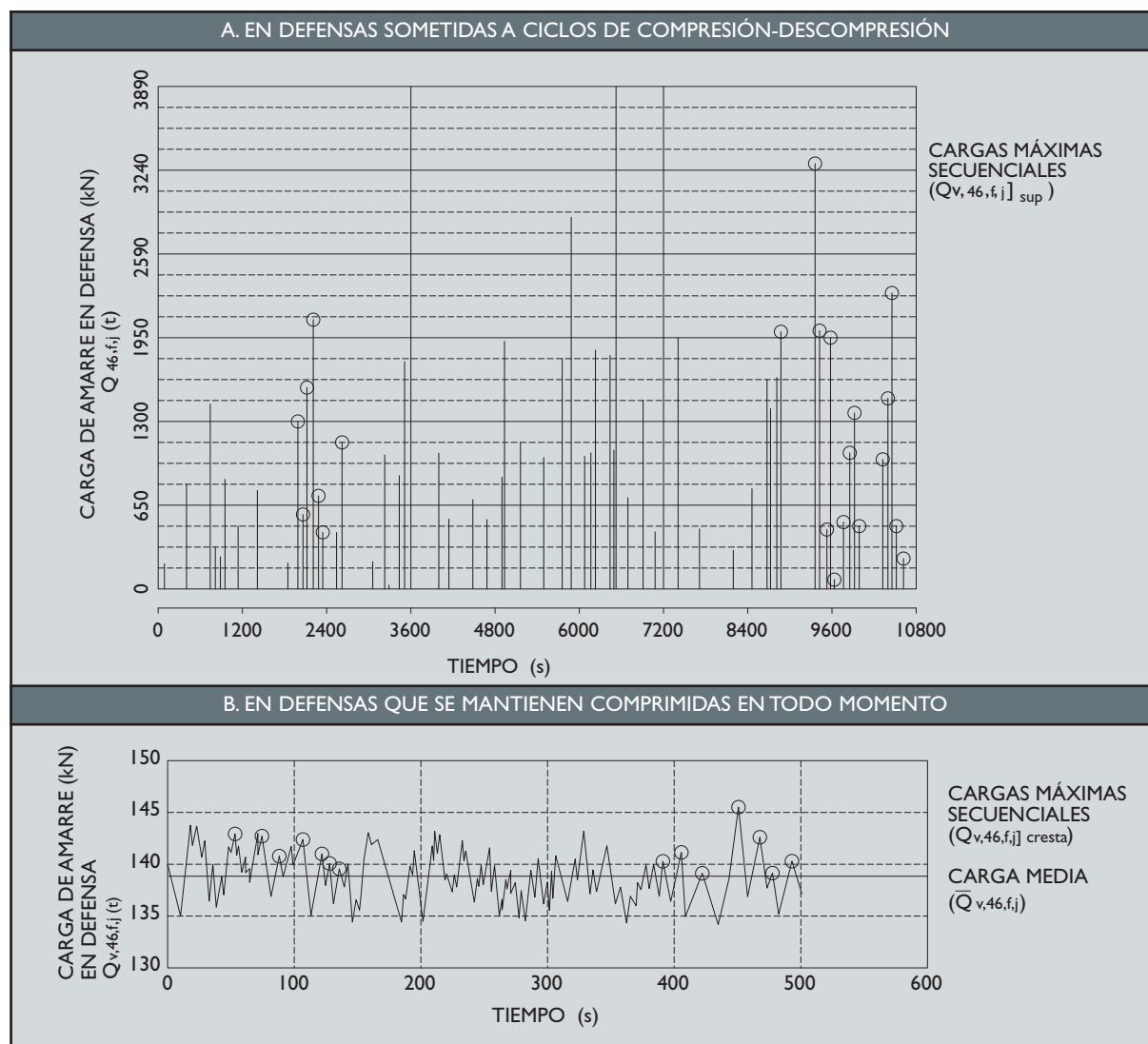
**Figura 4.6.4.29. Ejemplo de registro tipo de cargas de amarre en una línea de amarre en un estado meteorológico, en la condición de trabajo operativa de permanencia del buque en el atraque**



**Figura 4.6.4.30. Ejemplos de espectros de la componente de fluctuación de cargas de amarre correspondientes a líneas de amarre de través de un buque gasero de 125.000 m<sup>3</sup> en un estado meteorológico, en situación de plena carga amarrado de costado**



**Figura 4.6.4.31. Ejemplo de registro tipo de cargas de amarre en una defensa de un estado meteorológico, en la condición de trabajo operativa de permanencia del buque en el atraque**



Independientemente del mayor o menor comportamiento dinámico que puede presentar el sistema buque/sistema de amarre/sistema de defensa al ser solicitado por los distintos agentes que actúan sobre el buque amarrado y que incide en las características de las cargas de amarre resultantes, los periodos de las componentes de fluctuación de las acciones en las líneas de amarre o en defensas continuamente comprimidas que tienen mayor nivel energético suelen ser significativamente mayores que los periodos naturales de oscilación de la mayor parte de las obras de atraque y amarre fijas cuando la configuración y características del sistema de amarre responde a los principios operativos establecidos como adecuados para cada tipo de buque, configuración del atraque y condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque (ver apartado 4.6.4.4.7.1.1). Por dicha razón, a pesar de la naturaleza oscilatoria de estas acciones, en general no será necesario considerar una respuesta dinámica de este tipo de estructuras debido a la actuación de cargas de amarre. Sin embargo, las estructuras fijas muy flexibles, así como las estructuras flotantes, sí pueden presentar un comportamiento dinámico frente a la actuación de dichas cargas, por lo que es conveniente a estos efectos realizar un análisis dinámico global del conjunto buque/sistema de amarre/sistema de atraque (estructura de atraque+sistema de defensas); es decir, incluyendo también en el análisis la estructura de atraque (Ver apartado 4.6.2.1.1.d<sub>3</sub>).

La actuación de las acciones de amarre correspondientes a un puesto de atraque se considerará en los siguientes estados representativos de los ciclos de sollicitación asociados a la explotación de la instalación de atraque:



- ◆ Condiciones de trabajo operativas correspondientes a la permanencia de buques en el atraque sin realizar operaciones de carga y descarga.
- ◆ Condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga de mercancías o embarque y desembarque de pasajeros con buque atracado,

así como en los ciclos de solicitud representativos de condiciones excepcionales asociadas a la presentación en dichos estados operativos del agente sísmico o de un agente extraordinario o insólito. Por tanto, se considerarán de actuación simultánea con el resto de agentes presentes en dichos estados en las condiciones de simultaneidad entre sí definidas en esta Recomendación para cada uno de los agentes y adoptando los valores representativos de compatibilidad y, en su caso, funciones de distribución definidos para los mismos en cada una de dichas condiciones de trabajo.

Por razones de incompatibilidad operativa no se considerará esta acción en condiciones extremas o en condiciones excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, salvo que no quede limitada la permanencia del buque en el atraque para alguno de los agentes climáticos. Tampoco se considerará en condiciones de trabajo correspondientes a las operaciones de atraque, salvo que la estructura de atraque pueda recibir las cargas de amarre de atraques próximos (p.e. pantalán atracable por ambos lados) o los criterios de explotación de la instalación establecidos por el Promotor consideren específicamente la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante las maniobras de atraque.

Siempre que los resguardos y las configuraciones del sistema de amarre definidos para buques atracados en puestos de amarre contiguos en el estado considerado permitan amarres múltiples y además lo prevean específicamente los criterios de explotación establecidos para la instalación portuaria en dicho estado <sup>(96)</sup>, sobre un punto de amarre se deberá considerar la actuación simultánea de cargas de amarre provenientes de buques atracados en puestos contiguos. Los criterios para definir las condiciones de compatibilidad de estas cargas en función del método utilizado para la determinación de las acciones de amarre se incluyen en los apartados correspondientes a la descripción de dichos métodos (apartados 4.6.4.4.7.1.2 a 4.6.4.4.7.1.3).

En ausencia de estudios detallados, para la verificación de modos de fallo globales en obras de atraque y amarre fijas podrá considerarse simplificada del lado de la seguridad que las componentes de las acciones de amarre sobre los puntos de amarre y las que actúan sobre las defensas no actúan simultáneamente por ser direccionalmente desfavorables entre sí, salvo en estructuras atracables por ambos lados (p.e. pantalán), al poder actuar ambas en el mismo sentido. En obras de atraque continuas (muelles o pantanes continuos) deberá considerarse simplificada que en todos los puntos de amarre o defensas puede actuar en cada condición de trabajo simultáneamente la carga correspondiente al punto de amarre o defensa más cargado en dicha condición de trabajo (Ver apartado 4.6.4.4.7.2). Las anteriores simplificaciones también serán de aplicación para el caso en el que sobre un punto de amarre actúen cargas de líneas de amarre provenientes de puestos de amarre contiguos, considerando los criterios de compatibilidad establecidos para esos casos de acuerdo con lo previsto en esta Recomendación. Estas simplificaciones no serán de aplicación para la verificación de modos de fallo globales en obras de atraque y amarre flotantes cuando este tipo de estructuras presenten un comportamiento dinámico frente a la actuación de las cargas de amarre, siendo imprescindible en estos casos realizar un análisis dinámico global del conjunto. Para la verificación de modos de fallo locales y particularmente para la verificación de amarras, defensas y puntos de amarre (bolardos, ...) también serán de aplicación las anteriores simplificaciones.

Las acciones de amarre son cargas compuestas al ser dependientes de otros agentes, en particular del buque y de los agentes climáticos y de algunos agentes operativos que actúan sobre el mismo, por lo que pueden considerarse correlacionadas con estos agentes, así como con otras acciones que se presenten en cada condición de trabajo en la que se considere su actuación y que dependan de alguno de estos agentes, en las condiciones de simultaneidad y compatibilidad establecidas para los mismos en dichos estados. Para su definición se considerará que el factor predominante es el tamaño, composición y características de la flota de buques esperable en el atra-

(96) Por ejemplo en atraques para mercancías peligrosas, por criterios de seguridad no son admisibles configuraciones de sistemas de amarre que establezcan el cruce de líneas de amarre correspondientes a diferentes buques o la utilización de un mismo dispositivo de amarre (bolardo o uña de gancho de escape rápido) por varios buques (Ver apartado 3.2.1.4).

que, definida a través de las funciones de distribución conjunta de las tipologías y de los parámetros geométricos de los buques en cada situación de carga en la que puedan encontrarse en el atraque o bien, cuando no estén nominalmente identificados por el Promotor o estén únicamente identificados por un único parámetro representativo considerado como principal, a través de las funciones marginales o de los buques de proyecto definidos para dicho parámetro para cada tipología del buque de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.4.4.1. En ese último caso, los otros parámetros representativos distintos al principal que inciden en la cuantificación de la acción (eslora, áreas longitudinales y transversales emergidas, áreas longitudinales y transversales sumergidas,...) que se asignan a cada uno de los buques así definido se derivarán a partir de dicho parámetro principal según lo dispuesto en dicho apartado, tomando en consideración las situaciones de carga límite en las que pueden encontrarse los buques en el atraque, así como las tipologías de los buques compatibles con el uso establecido para la obra de atraque. En los casos en los que el Promotor de la instalación no establezca las situaciones de carga límite del buque en el atraque se considerará que puede encontrarse tanto en situación de plena carga como en lastre.

#### 4.6.4.4.1. Métodos para la determinación de las acciones de amarre

Para un buque en una determinada condición de carga, amarrado en una obra de atraque, la determinación de las cargas de amarre deberá llevarse a cabo analizando el comportamiento global del conjunto buque/sistema de amarre/sistema de atraque frente a la actuación de agentes climáticos y agentes debidos a las operaciones de buques en los ciclos de sollicitación correspondientes a las diferentes condiciones de trabajo consideradas. En los casos de obras de atraque fijas, salvo en obras de atraque muy flexibles (p.e. duques de alba formados por pilotes aislados o grupos de pilotes) será suficiente analizar a estos efectos simplificadaamente el comportamiento global del conjunto buque/sistema de amarre/sistema de defensas; es decir, no incluyendo la estructura de atraque, al no ser previsible una respuesta dinámica de este tipo de estructuras debido a la actuación de cargas de amarre.

Los métodos que permiten el modelado y la resolución de un sistema dinámico tan complejo son los siguientes:

- ◆ Métodos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados
- ◆ Modelos matemáticos
- ◆ Modelos experimentales

Independientemente del método de análisis que se utilice, previamente se deberán conocer o definir las configuraciones y características iniciales de los sistemas de amarre y defensas que se van adoptar para cada buque, situación de carga y configuración del atraque en todos los estados en los que se considere la permanencia del buque en el atraque. Estos sistemas deberán ser adecuados para mantener los movimientos del buque amarrado y los esfuerzos sobre el mismo, así como sobre las líneas y puntos de amarre, defensas y estructura, en valores admisibles, compatibles con su seguridad y, en su caso, con el desarrollo en condiciones seguras de las operaciones portuarias de carga y descarga de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros.

A estos efectos, debe recordarse que algunos sistemas de amarre y defensas pueden ser útiles para la reducción de los movimientos horizontales de los buques (deriva, vaivén y guiñada), modificando simultáneamente los periodos de oscilación del buque amarrado correspondientes a estos movimientos respecto al buque en flotación libre <sup>(97)</sup>. Por el contrario, los sistemas de amarre no son prácticamente eficaces para la reducción de los movimientos verticales del buque (alteada, cabeceo y balance), salvo en lo que respecta a la capacidad de las defensas cuando están comprimidas de reducir dichos movimientos, particularmente importante en el caso del balance, no dando lugar, con la excepción señalada, ni a una disminución relevante de los movimientos verticales ni a la alteración significativa de los periodos de oscilación del buque amarrado correspondientes a estos movimientos respecto al buque en flotación libre <sup>(98)</sup>. No obstante lo anterior, en algunos buques (particularmente los

(97) Los periodos de oscilación correspondientes a los movimientos horizontales del buque amarrado para buques con  $L \geq 25$  m suelen estar en el rango entre 15 s y 2 min, dependiendo del tipo y desplazamiento del buque y de la configuración y características del sistema de amarre y defensas. Cuanto menor sea el desplazamiento del buque y más rígido el sistema de amarre y defensas, menores serán los periodos de oscilación.

(98) Los periodos de oscilación correspondientes a los movimientos verticales del buque amarrado suelen ser menores de 20 s. Asimismo, cuanto menor sea el desplazamiento del buque y más rígido el sistema de defensas, menores serán los periodos de oscilación.

que tienen cubierta alta) y con algunos sistemas de amarre, la acción de los traveses puede afectar significativamente al balance (e incluso al cabeceo y a la alteada, aunque en menor medida) al dar lugar a acoplamientos (transferencia de energía) entre los movimientos de deriva y balance.

Los máximos movimientos admisibles de los buques en condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga de mercancías o embarque y desembarque de pasajeros con buque atracado son aquéllos a partir de los cuales no es posible realizar dichas operaciones en condiciones de seguridad y eficiencia. Dependen fundamentalmente del tipo y tamaño del buque y del sistema de manipulación de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros considerado. Los máximos valores recomendados se recogen en la tabla 4.6.4.22 de esta Recomendación.

Los máximos movimientos admisibles de los buques en condiciones de trabajo operativas correspondientes a la permanencia del buque en el atraque sin realizar operaciones de carga y descarga son aquéllos a partir de los cuales el buque, el sistema de amarre y defensas o el atraque podrían resultar dañados y, por tanto, no quedara garantizada la permanencia del buque amarrado en el puesto de atraque en condiciones seguras. Es decir, los límites de los movimientos vienen definidos más por las características de los sistemas de amarre y defensas y por las presiones que se producen sobre el casco de los buques que por otros factores.

En este sentido, a igualdad de otras condiciones, los movimientos del buque generalmente admisibles con sistemas de amarre y defensas rígidos suelen ser menores que con sistemas más flexibles, al alcanzarse antes en los primeros las cargas admisibles en los distintos elementos que conforman los sistemas de amarre y atraque. Por tanto, no es posible definir con carácter absoluto un rango superior admisible para dichos movimientos, tanto en lo que se refiere a sus valores máximos como a las características de los mismos (amplitud respecto a su valor medio, periodo medio, velocidad máxima y aceleración y deceleración máxima).

No obstante lo anterior es conveniente establecer unos movimientos máximos admisibles de carácter funcional. Los criterios existentes en la literatura técnica referentes a los movimientos admisibles de los buques en condiciones de trabajo operativas correspondientes a la permanencia en el atraque de carácter funcional son escasos y poco homogéneos, variando ampliamente en función de la experiencia operativa adquirida en un determinado emplazamiento, del tamaño y tipo de buque, del tipo de atraque y de la configuración y características del sistema de amarre y defensas considerado. Sin perjuicio de estos aspectos y en ausencia de otros criterios específicos en el emplazamiento, los órdenes de magnitud de los valores de los movimientos del buque en estas condiciones de trabajo que se consideran como máximo funcionalmente aceptables con carácter general para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque fija o a un amarradero de orientación fija, siempre que el sistema de amarre y defensas esté razonablemente bien concebido, se recogen en la tabla 4.6.4.48. Para buque amarrado por proa a un amarradero de orientación libre podrán considerarse como órdenes de magnitud de los máximos movimientos admisibles del buque los establecidos para petroleros en la tabla 4.6.4.48, independientemente del tipo de buque.

#### 4.6.4.7.1.1. Definición de la configuración y características del sistema de amarre y defensas

El Promotor de la instalación de atraque deberá definir la disposición y características del sistema de amarre para cada tipo de buque perteneciente a la flota esperable en la instalación, situación de carga y configuración del atraque en todos los estados en los que se considere la permanencia del buque en el atraque, considerando en el caso de atraques múltiples la compatibilidad operativa entre los buques de la flota que pueden encontrarse atracados simultáneamente en la instalación, sobre la base de los criterios de explotación definidos para la instalación, el equipamiento disponible y la experiencia operativa adquirida, así como de las recomendaciones efectuadas por las Sociedades de Clasificación de Buques o por organizaciones específicas como la OCIMF o SIGTTO para determinados tipos de buques (petroleros, gaseros y transportadores de productos petrolíferos y químicos)<sup>(99)</sup>.

(99) OCIMF: Oil Companies International Marine Forum.

SIGTTO: Society of International Gas Tanker and Terminal Operators Ltd.

**Tabla 4.6.4.48. Valores recomendados para los desplazamientos, giros y amplitudes máximos admisibles del buque atracado compatibles con permanencia en el atraque por condiciones funcionales, para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque fija y para buque amarrado por proa a un amarradero de orientación libre**

TIPO DE BUQUE	VAIVÉN (surge) (m)	DERIVA (sway) (m)	ALTEADA (heave) (m)	GUIÑADA (yaw) (°)	CABECEO (pitch) (°)	BALANCE (roll) (°)
Petrolero	± 4,00	4,00	± 4,00	± 2	± 2	± 4
Gasero	± 3,00	3,00	± 3,00	± 2	± 2	± 4
Granelero	± 3,50	3,50	± 3,50	± 2	± 2	± 4
Resto de buques	L ≥ 200 m	± 2,00	2,00	± 2,00	± 2	± 4
	100 m < L < 200m	± 1,00	2,00	± 1,00	± 3	± 6
	L ≤ 100 m	± 0,75	2,00	± 0,75	± 4	± 8

**Notas**

- 1) No debe confundirse el término valor máximo del movimiento con el de máxima amplitud del movimiento. El valor máximo es un concepto absoluto. Por el contrario la máxima amplitud del movimiento es un término relativo al valor medio del mismo. Por tanto, de acuerdo con los límites fijados en esta tabla, la máxima amplitud admisible será el doble de la menor distancia entre el valor medio del movimiento y los valores máximos admisibles superior e inferior.
- 2) Los máximos movimientos horizontales y verticales incluidos en esta tabla se consideran respecto a la situación de reposo de buque atracado, medidos en su centro de gravedad, excepto para el caso del movimiento de deriva en que se corresponden con la distancia medida en la dirección de alejamiento del sistema atraque (obra de atraque + defensa). Los giros también se consideran medidos alrededor de los ejes horizontales y vertical que pasan por su centro de gravedad, respecto a la situación de reposo.
- 3) Los valores reflejados en la tabla están limitados para movimientos con periodos medios entre 10-20 s. Para movimientos del buque amarrado con periodos mayores podrán admitirse valores mayores.
- 4) En el caso de embarcaciones deportivas y de recreo, así como cruceros y ferries, los movimientos del buque admisibles compatibles con la permanencia del buque en el atraque son menores que los listados en esta tabla con el objeto de mantener una habitabilidad aceptable con el pasaje a bordo. En el caso de cruceros y ferries los máximos movimientos admisibles del buques en esta condición de trabajo serán los previstos en la tabla 4.6.4.22. para condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros. En la práctica, para el caso de embarcaciones deportivas y de recreo de menos de 20 m de eslora normalmente no se analizan máximos movimientos admisibles asociados con la seguridad de la embarcación amarrada. La seguridad y condiciones de confortabilidad en el puesto de atraque de este tipo de embarcaciones se garantiza a través de la limitación de las condiciones de agitación debidas a oleaje en dicha área a valores de altura de ola significativa ( $H_s$ ) menores de 0,30 m, al depender fundamentalmente de este agente los movimientos de estas embarcaciones.
- 5) L: eslora total.

En lo que respecta a la disposición, número y características del sistema de defensas se adoptará inicialmente el que se haya elegido en función de las cargas de atraque (ver apartado 4.6.4.4.3) y de las debidas a la consideración del impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque (ver apartado 4.6.4.4.4.), sin perjuicio de que es conveniente su compatibilidad con las características adoptadas para el sistema de amarre con objeto

de que se alcance un comportamiento integrado de amarras y defensas (Ver epígrafe a. Tipo de sistema de defensas, de este apartado) y de la posterior comprobación de las mismas, de sus niveles de deformación y de las presiones de contacto ejercidas sobre el casco del buque para las cargas de amarre resultantes de forma equivalente a lo dispuesto en el apartado 4.6.4.4.3.2 de esta Recomendación para las cargas de atraque. En este sentido deberá cumplirse que las cargas de amarre en cada uno de los elementos que conforman el sistema de atraque (defensas + obra de atraque) se mantengan en el dominio admisible de cada uno de ellos (Ver apartado 4.6.4.4.3.2.a), considerando el valor característico de la carga máxima más probable en cada uno de los ciclos de solicitud o condiciones de trabajo a las que puedan estar sometidos dichos elementos (para formulaciones deterministas o determinista-probabilistas) o que la probabilidad de que las cargas de amarre en cada uno de los elementos del sistema de atraque en dichos ciclos de solicitud excedan el dominio último sea menor que  $10^{-4}$  (criterio incondicional de no fallo para estados límite últimos), así como de que la probabilidad de que las cargas de amarre excedan el dominio admisible sea menor de 0,05 (criterio incondicional de no fallo para estados límite de servicio (para formulaciones probabilistas)). No obstante lo anterior, cuando se considere la actuación de cargas de amarre en condiciones de trabajo extremas y excepcionales puede admitirse que la defensa puede agotar su capacidad de absorción de energía en dichas condiciones de trabajo, siempre que la estructura resistente cumpla las condiciones de no fallo anteriormente establecidas. En caso de incumplimiento será necesario reiterar el proceso, considerando menores separaciones entre defensas o defensas de características compatibles con los resultados obtenidos.

En el caso de que el Promotor no esté en condiciones de explicitar la configuración y características de los sistemas de amarre para cada buque y condición de trabajo, será el Proyectista el que lo defina inicialmente tomando en consideración idénticos criterios que los establecidos para el Promotor, así como los principios de buena práctica para cada configuración de atraque que se desarrollan en los epígrafes a) y b) de este apartado de acuerdo con las condiciones locales en el emplazamiento y las climáticas adoptadas como límite para la permanencia del buque en el atraque, así como, en su caso, las características de amarras más comunes embarcadas según el tipo de buque (Ver epígrafe a. Características de las líneas de amarre, de este apartado).

#### a) Criterios generales

Para la definición de la configuración y características del sistema de amarre y defensas de un buque amarrado correspondiente a cada uno de los ciclos de solicitud (condiciones de trabajo) que se consideran se tendrán en cuenta los siguientes criterios generales:

- ◆ *Número de líneas de amarre:* se tenderá a disponer el menor número posible de líneas de amarre. Con ello se conseguirá facilitar el manejo y tensionado de las mismas, simplificando las maniobras de atraque y desatraque. El número máximo de líneas de amarre estará en el rango de 12 a 18, dependiendo del tamaño y características del buque.
- ◆ *Disposición de las líneas de amarre:* las líneas de amarre y, en su caso, las defensas se distribuirán simétricamente respecto al centro geométrico del buque (punto medio de la eslora) para amarre lateral o de costado o respecto al eje longitudinal del buque para amarres por proa a un campo de boyas y, en ambos casos, lo más alejadas posible del centro geométrico del buque en el contacto buque/línea de amarre. Deberá comprobarse que todas ellas se mantienen tensionadas en toda situación de permanencia del buque en el atraque dentro de los límites admisibles en función del tipo de amarra y de los niveles tensionales que permitan los dispositivos de tensión del buque, así como que el buque se encuentra firme contra el sistema de defensas en esas situaciones. Es decir, deberá comprobarse que no se produce el destensado o el sobretensado de alguna de ellas, debiéndose comprobar particularmente las situaciones en la que el nivel de las aguas y/o la situación de carga del buque dan lugar a que se presenten las distancias mínima y máxima entre el punto de amarre y el cabrestante o chigre del buque. De esta forma se garantiza un reparto homogéneo de las cargas sobre el buque independientemente de la dirección de los agentes que actúan sobre el mismo, reduciendo al mínimo el riesgo de acoplamientos entre los distintos movimientos del buque. Lo anterior se establece con carácter general, sin perjuicio de que configuraciones no simétricas (p.e. duplicando alguna de las líneas o introduciendo nuevas líneas como largos en proa o popa) pueden ser reco-

mendables para buques amarrados lateralmente a una obra de atraque fija cuando las acciones predominantes sobre el buque actúen básicamente provenientes de un único sector direccional. No obstante, en estos casos siempre existe el riesgo de que se produzcan distribuciones no homogéneas de las cargas de amarre.

La simetría del sistema de amarre no es sinónimo de que el buque amarrado deba estar centrado en el atraque cuando su configuración física sea muelle, pantalán o duque de alba. Algunos buques como los petroleros o gaseros pueden tener los sistemas de conexión para la carga y descargas en zonas más o menos alejadas del centro del buque, por lo que el amarre estará descentrado respecto del centro de dichos sistemas de conexión.

- ◆ *Orientación de las líneas de amarre:* la efectividad de las líneas de amarre depende de dos ángulos: el ángulo vertical entre la línea de amarre y su proyección sobre un plano horizontal y el ángulo horizontal entre la línea de amarre y la línea de atraque. Cuanto más pequeño sea el ángulo vertical más efectiva será la línea de amarre para resistir acciones horizontales. A su vez, cuanto mayor sea el ángulo horizontal menos efectiva será la línea de atraque para resistir acciones longitudinales en la dirección del eje del buque y más efectiva para resistir acciones transversales. Para que su eficacia no se reduzca significativamente, puede considerarse que el ángulo vertical máximo no deberá exceder en ningún caso  $\pm 25^\circ$  en los estados en los que se considere la permanencia del buque en el atraque. Por dichas razones, deberá comprobarse especialmente que dicho valor no se supera en aquellas situaciones de nivel de las aguas, situación de carga y máximos movimientos verticales del buque que dan lugar a los mayores ángulos verticales.
- ◆ *Características de las líneas de amarre:* las propiedades resistentes y de deformación de las líneas de amarre pueden definirse por medio de sus diagramas tensión/deformación. Según las características que presentan estos diagramas podemos distinguir los siguientes tipos de amarras:
  - *Amarras de fibras naturales,* fabricadas con materiales como el sisal, el cáñamo, etc., con diferentes tipos de estructuras de filamentos, cordones y trenzados. Estas amarras tienen bajas tensiones de rotura (del orden de  $0,06-0,08 \text{ kN/mm}^2$ ), con deformaciones en rotura entre el 10 y el 15%. Los diagramas tensión/deformación suelen tener una forma prácticamente lineal. Se fabrican con tamaños máximos del orden de  $100 \text{ mm}$  de diámetro (mena <sup>(100)</sup> de  $315 \text{ mm}$ ). La carga última que puede alcanzarse con este tipo de amarras no suele superar  $600 \text{ kN}$ .
  - *Amarras de fibras sintéticas* fabricadas con materiales como el polipropileno, el poliéster, la poliamida o el nylon, también con diferentes tipos de estructuras de filamentos, cordones y trenzados. Estas amarras tienen mayores tensiones de rotura que las amarras de fibras naturales (de 2 a 4 veces mayores en función de los tipos y materiales comparados), por lo que tienen menor peso a igualdad de carga última y por tanto son de más fácil manipulación que las de fibras naturales. Las tensiones de rotura están normalmente en el rango  $0,15$  a  $0,40 \text{ kN/mm}^2$ , con deformaciones en rotura entre el 12 y el 25%. Los diagramas tensión-deformación oscilan desde los prácticamente lineales (amarras de polipropileno) a los fuertemente exponenciales (amarras de poliéster o nylon). Se fabrican con tamaños máximos de  $80 \text{ mm}$  de diámetro y mena de  $250 \text{ mm}$  (amarras de polipropileno) a  $140 \text{ mm}$  y mena de  $440 \text{ mm}$  (amarras de poliéster o nylon). La carga última que puede alcanzarse con este tipo de amarras no suele superar  $5.000 \text{ kN}$ . Los tamaños más comunes de estos tipos de amarras embarcados actualmente en los buques oscilan entre  $40-48 \text{ mm}$  de diámetro ( $125 \text{ mm}-150 \text{ mm}$  de mena) en los buques pequeños (de hasta  $5.000 \text{ t}$  de desplazamiento a plena carga) y  $72-80 \text{ mm}$  de diámetro ( $225 \text{ mm} - 250 \text{ mm}$  de mena) en buques grandes (de más de  $100.000 \text{ t}$  de desplazamiento).  
No obstante lo anterior, en la actualidad se están desarrollando amarras de fibras sintéticas con diagramas tensión-deformación lineales y alto módulo de deformación, construidas con nuevos materiales como el polietileno de alta densidad (PEAD) o la aramida (Kevlar), así como con nuevas estructuras que permiten alcanzar tensiones de rotura elevadas (del orden de  $1 \text{ kN/mm}^2$ )

(100) Se conoce por “mena” al perímetro de la línea de amarre.



con deformaciones en rotura pequeñas (entre el 3 y el 5%). Su comportamiento es similar al de las amarras de acero, aunque de mucho menor peso a igualdad de carga última y, por tanto, de mucha más fácil manipulación. Hay en el mercado amarras de este tipo con cargas últimas mayores de 10.000 kN, las cuales están progresivamente siendo introducidas en cruceros y gaseros de nueva construcción.

- *Amarras de acero*, compuestas de un núcleo central de acero, de fibras naturales o de fibras sintéticas, alrededor del cual se disponen cables de acero agrupados en cordones, los cuales se trenzan de diferentes formas. Los cables pueden ser tanto de acero galvanizado como no galvanizado. Estas amarras presentan altas tensiones de rotura (del orden de 0,7 a 1 kN/mm<sup>2</sup>), con deformaciones en rotura entre el 2 y el 3%. Los diagramas tensión-deformación de este tipo de amarras son lineales. Se fabrican con tamaños máximos del orden de 90 mm de diámetro (285 mm de mena). La carga última que puede alcanzarse con este tipo de amarras no suele superar los 4.500 kN. Este tipo de amarras suele presentar mayores pesos por metro lineal que las amarras sintéticas (el doble de las convencionales y 10 veces más que las de alto módulo) a igualdad de carga, por lo que son de peor manipulación. Los tamaños más comunes de estos tipos de amarras embarcados actualmente en los buques oscilan entre 22-26 mm de diámetro (70 mm – 80 mm de mena) en los buques pequeños (de hasta 5.000 t de desplazamiento a plena carga) y 32-36 mm de diámetro (100 mm-115 mm de mena) en los buques grandes (de más de 100.000 de desplazamiento).
- *Amarras combinadas*, conocidas también como calabrotes, formadas por una amarra de acero y una amarra de fibra sintética, normalmente nylon, situada en el extremo lado tierra o cola de la amarra, con una longitud estándar del orden de 11 m y excepcionalmente de 22 m. Se suele adoptar una amarra sintética que tenga una carga de rotura un 25% superior que la carga de rotura de la amarra de acero. Bajo estas condiciones, el comportamiento global del conjunto es menos rígido que la amarra de acero actuando en solitario (mayor capacidad de deformación ante una misma carga actuante), acentuando dicho comportamiento a mayor longitud de la cola. Además su carga de rotura es del orden del 25%-35% incluso del 50% superior a la de la amarra de acero. Este tipo de amarra suaviza las debilidades que presenta el comportamiento de las amarras de acero, particularmente en lo que se refiere al nivel de la respuesta dinámica del conjunto buque-sistema de amarre-sistema de defensa, facilitando adicionalmente su manipulación por reducción de su peso y aumentando la durabilidad de la amarra. Además, este tipo de amarras reduce los riesgos cuando los ángulos verticales en el punto de amarre son elevados.

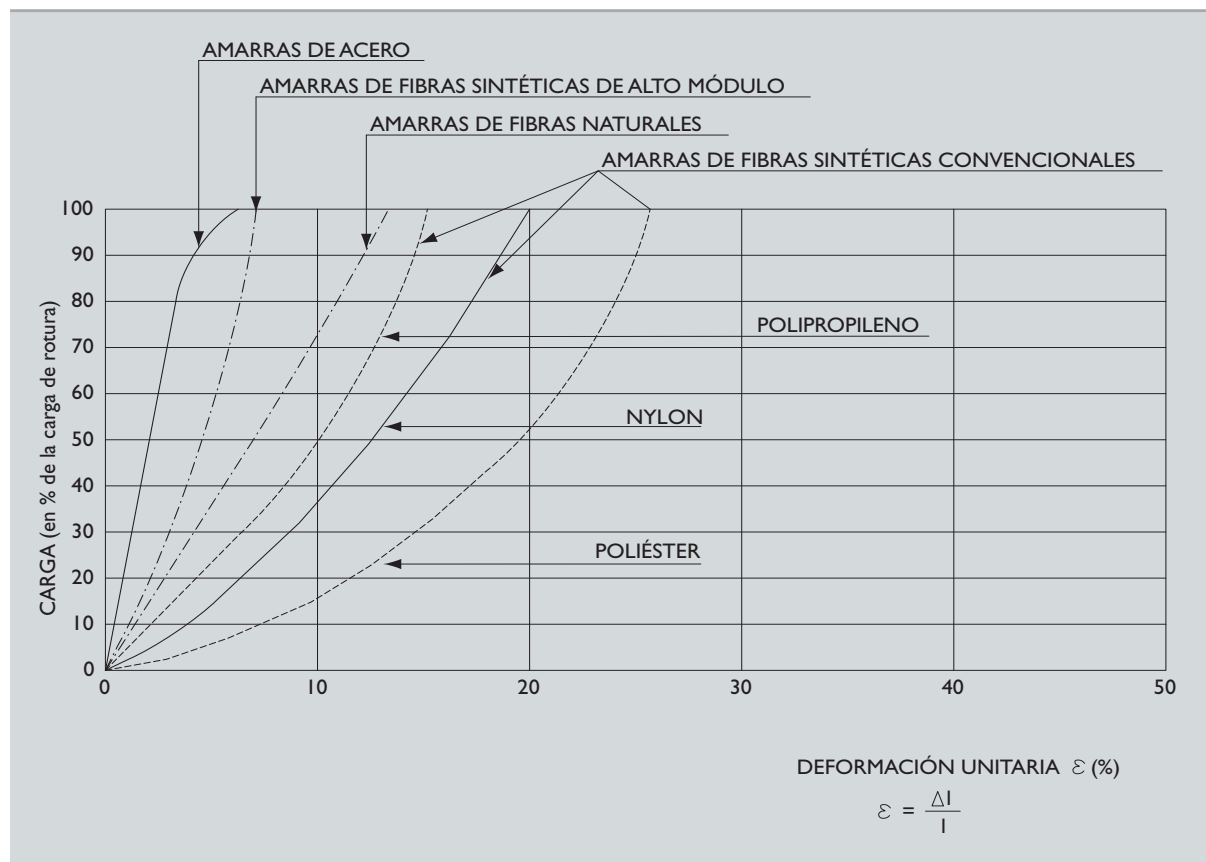
Ejemplos de diagramas tensión-deformación correspondientes a amarras de distintas características se incluyen en la figura 4.6.4.32.

Las características de las líneas de amarre (tipo, material, diámetro o mena y longitud), así como las condiciones tensionales iniciales o continuadas de las mismas a través de dispositivos (chigres) de tensión constante situados en el buque y/o en la terminal, inciden de forma determinante en el comportamiento del sistema de amarre por diferentes razones:

- Las amarras con una mayor capacidad de deformación ante una misma carga actuante (diagramas tensión-deformación más tendidos, menor diámetro o mayor longitud) pueden modificar el comportamiento dinámico del conjunto buque/sistema de amarre/sistema de atraque al aumentar los periodos naturales de oscilación de los movimientos horizontales del buque amarrado (para los que el buque amarrado presenta una baja capacidad de amortiguamiento <sup>(101)</sup>), alejándolos para la mayor parte de los buques de los periodos de una gran parte de agentes actuan-

(101) En términos generales, los sistemas de amarre no tienen incidencia en los periodos naturales de oscilación correspondientes a los movimientos verticales del buque amarrado, los cuales siguen siendo aproximadamente los correspondientes al buque en flotación libre. Como, al contrario que para movimientos horizontales, el conjunto buque/sistema de amarre/defensas presenta en general una alta capacidad de amortiguamiento para los movimientos verticales, no son esperables comportamientos resonantes del buque amarrado en lo que respecta a estos movimientos, excepto para el balance cuando actúa el oleaje en dirección básicamente transversal al buque ya que pueden presentarse desfases entre éste y la respuesta del buque, así como acoplamientos entre los movimientos de deriva y balance.



**Figura 4.6.4.32. Ejemplos de diagramas tensión-deformación correspondientes a amarras tipo**

tes (oleaje, viento, corrientes, ..., excepto ondas largas de muy largo periodo y maremotos), minimizando simultáneamente la amplitud de fluctuación de las cargas de amarre generadas respecto a su valor medio. Es decir, las amarras de estas características respecto a otro tipo de amarras dan lugar a una reducción de las cargas de amarre cuando actúan sobre el buque oscilaciones de periodo corto e intermedio. Por dicha razón son particularmente recomendables cuando el buque está localizado en zonas no abrigadas o para estaciones de transferencia a flote.

No obstante, deberá tomarse en consideración que las amarras con una mayor capacidad de deformación ante una misma carga actuante dan lugar a mayores movimientos del buque que las de menor capacidad, lo que podría dar lugar a una reducción de las ventanas operativas tanto para la realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque como para la permanencia del buque en el atraque, así como a un aumento de los riesgos para la seguridad del buque. Este tipo de amarras también podrían introducir energía cinética adicional al sistema de atraque.

- Líneas de amarre de diferentes características conectadas a los mismos puntos del buque y la obra de atraque asumen diferentes cargas en función de su elasticidad relativa. Las que tienen diagramas tensión-deformación menos tendidos, las de mayor diámetro o las de menor longitud; es decir las más rígidas, absorberán una mayor proporción de la carga. Aunque esta situación es posible que pudiera presentarse, en general no es habitual utilizar líneas de diferentes características en un mismo buque en condiciones de trabajo normales operativas ni utilizar simultáneamente líneas de amarre del buque con líneas disponibles en la terminal, salvo supuestos excepcionales en los que el buque, no pudiendo abandonar el atraque, tuviera que reforzar líneas (p.e. buques de reparación en astilleros o en zonas con tifones o huracanes).
- A igualdad de características de las líneas de amarre, el pretensado inicial de las mismas o la utilización de chigres de tensión constante aumenta la rigidez del sistema de amarre, reduciendo simultáneamente los movimientos del buque y la fluctuación de las cargas en las líneas de ama-

re debido conjuntamente al efecto de las defensas comprimidas y al valor creciente del módulo de deformación con el nivel tensional para la mayor parte de las amarras naturales y sintéticas. En estos casos se modifica el comportamiento del conjunto buque/sistema de amarre/sistema de atraque reduciendo los periodos naturales de oscilación de los movimientos horizontales del buque, alejándolos de los periodos energéticamente relevantes de los agentes actuantes.

Por todo lo anterior, es recomendable que todas las líneas de amarre sean del mismo material, diámetro o mena y longitud entre el cabrestante o chigre del buque y el punto de amarre (bolardo, gancho de escape rápido, roldana, ...) con objeto de conseguir la máxima simetría de cargas sobre el buque. En el caso de que no sea posible, por lo menos deberá cumplirse este principio en las líneas de amarre del mismo servicio: esprines, traveses, largos de proa y popa, amarras de proa, amarras de popa ... (Ver subapartados b y siguientes de este apartado sobre disposiciones tipo de sistemas de amarre para buques amarrados según las diferentes configuraciones físicas de las obras de atraque y condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque). En general, serán preferibles las amarras de material con diagrama tensión-deformación tendidos (fibras naturales o sintéticas convencionales), largas y no en gran número, ya que tienen una mayor capacidad de deformación, responden mejor a esfuerzos dinámicos frente a acciones de periodo corto (oleaje, viento, ...) al aumentar los periodos propios de oscilación del buque amarrado, transmiten menor carga a igualdad de movimientos del buque y además son más fácilmente manipulables (especialmente las sintéticas). La excepción a esta regla se establece para los casos en que se deban restringir al máximo posible los movimientos del buque por limitaciones operativas muy estrictas de algunos equipos o sistemas de manipulación (p.e. para buques portacontenedores, ro-ros, ferries y cruceros), por razones de seguridad del buque (p.e. en configuraciones de tormenta, cuando se quiere asegurar la permanencia del buque en el atraque en toda situación sin que se produzcan movimientos del buque no asumibles, o en atraques de mercancías peligrosas (como para buques petroleros y gaseros) o cuando se prevea la presencia de ondas largas o efectos hidrodinámicos inducidos por buques en tránsito, en cuyos casos serán recomendables la utilización de chigres de tensión constante o de amarras más rígidas (de acero, sintéticas de alto módulo de deformación o combinadas en aquellos casos en que además se deba reducir la respuesta dinámica del sistema frente a acciones de periodo corto (como en zonas no abrigadas).

- ◆ *Tipo de sistema de defensas:* El sistema integrado de amarras y defensas presenta un mejor comportamiento cuando ambos elementos tienen rigideces equivalentes en su ámbito, a pesar de que siempre serán más rígidas las defensas que las amarras, hasta órdenes de magnitud de diferencia. En la práctica esto quiere decir que cuando se utilicen amarras de fibras naturales o sintéticas convencionales con alta capacidad de deformación para una misma carga actuante deberá tenderse a utilizar sistemas de defensa con rendimientos energéticos elevados. Por el contrario, cuando se utilicen amarras de mayor rigidez deberá tenderse a utilizar sistemas de defensa de mayor rigidez (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.3. a<sub>14</sub>).

Sin perjuicio de cualquier otra opción que, en aplicación de los anteriores criterios generales, adopte el Proyectista, a la vista de los mismos y tomando en consideración la necesidad de que las líneas de amarre consideradas coincidan con las características de las amarras que normalmente están embarcadas en cada tipo y tamaño de buque, se recomienda adoptar como disposición y características iniciales de las líneas de amarre para la definición del sistema de amarre correspondiente a cada buque y para la determinación de las cargas de amarre las siguientes:

- ◆ *Tipo de línea de amarre*
  - *Para disposiciones o configuraciones del sistema de amarre asociadas a condiciones límite de permanencia del buque en el atraque con dichas configuraciones definidas como Tipo I o Tipo II <sup>(102)</sup>. Esta situación puede establecerse de forma fija, independientemente de las condiciones climatológi-*

(102) La definición del significado de condiciones límite de permanencia del buque en el atraque como Tipo I, Tipo II y Tipo III se incluye en la tabla 4.6.4.49.

cas, cuando las condiciones climáticas límite de permanencia absoluta del buque en el atraque sean Tipo I o Tipo II o bien, en tanto no se superen las condiciones climáticas Tipo II, cuando, siendo las condiciones límite de permanencia absoluta en el atraque Tipo III, los criterios de explotación de la instalación prevean configuraciones específicas de tormenta una vez se superen las condiciones climáticas Tipo II.

- Para buques con  $\Delta \leq 10.000$  t: amarras de fibras sintéticas convencionales.
- Para buques con  $\Delta > 10.000$  t:
  - Petroleros, transportadores de productos petrolíferos, gaseros, portacontenedores, transportadores de coches, ro-ro, ferris y cruceros: amarras combinadas (calabrotes) o de fibras sintéticas de alto módulo.
  - Graneleros y mercantes de carga general: amarras de fibras sintéticas convencionales.
- *Para disposiciones o configuraciones del sistema de amarre asociadas a condiciones límite de permanencia del buque en el atraque con dichas configuraciones definidas como Tipo III.* Esta configuración puede establecerse de forma fija, independientemente de la situación climatológica, cuando los criterios de explotación de la instalación no prevean configuraciones reforzadas de tormenta o bien, cuando lo prevean, únicamente cuando se superen las condiciones climáticas definidas como Tipo II a los efectos de la permanencia del buque en el atraque:
  - Para buques con  $\Delta \leq 10.000$  t: amarras de fibras sintéticas convencionales.
  - Para buques con  $\Delta > 10.000$  t: amarras combinadas (calabrotes) o de fibras sintéticas de alto módulo, así como amarras combinadas e incluso amarras de fibras sintéticas convencionales cuando se considere la permanencia del buque en el atraque con oleaje superando los límites establecidos para condiciones Tipo II (ver tabla 4.6.4.49).

#### ◆ Número y diámetro de las líneas de amarre

La disposición del sistema de amarre y el número de líneas de atraque mínimas a considerar asociado a cada disposición será función del tipo y tamaño del buque, de la configuración del atraque y de las condiciones climáticas adoptadas como límite para la permanencia del buque en el atraque con dicha disposición. En los subapartados b), c), d) de este apartado se detallan las disposiciones tipo de líneas de amarre para las distintas configuraciones físicas de atraque, tipo de buque y condiciones climáticas adoptadas como límite para la permanencia del buque en el atraque.

A igualdad de tipo y tamaño de las líneas de atraque, la colocación de un mayor número de líneas de amarre respecto a las disposiciones mínimas recomendadas en los subapartados señalados dificulta su manejo y tensionado, aunque pueda dar lugar a menores movimientos horizontales del buque al ser menores las deformaciones de las amarras al repartirse entre un mayor número de ellas la resultante de las cargas actuantes, ampliándose las ventanas operativas. No obstante, el aumento de líneas de amarre da lugar a un aumento de la rigidez del sistema, pudiendo favorecer el comportamiento resonante del conjunto buque/sistema de amarre/defensas frente a acciones de periodo corto, por lo que no es particularmente recomendable aumentar el número de líneas de amarre en emplazamientos no abrigados frente a la acción del oleaje. Por todo lo anterior, para cada disposición del sistema de amarre es preferible controlar los movimientos del buque a través del tipo, tamaño y longitud de las líneas de amarre que ampliando su número.

Una vez conocido el tipo de línea de amarre, en general se adoptará inicialmente para cada una de las líneas incluidas en la disposición considerada un diámetro de forma que el 50% de su carga última sea mayor o igual que la correspondiente en la línea de atraque con la carga de amarre mínima definida en esta Recomendación en función del desplazamiento del buque, de las condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque y de la configuración del atraque (Ver apartado 4.6.4.4.7.3). El criterio anterior debe ser compatible con un tamaño de amarra que permita su fácil manipulación y tensionado <sup>(103)</sup> y con los diámetros de las que se encuentran usualmente

(103) Como criterio generalmente aceptado puede considerarse que amarras con pesos unitarios hasta 7 kg/m no generan problemas de manipulación y tensionado disponiendo de medios convencionales.

embarcadas en función del tipo y tamaño del buque (Ver epígrafe a. Características de las líneas de amarre de este apartado). En los casos en los que no sea posible se aumentará el número de líneas de amarre reduciendo su diámetro de forma que, manteniendo la carga conjunta de rotura, se reduzca su peso unitario. Lo anterior se establece sin perjuicio de la posterior comprobación de las líneas de amarre para las cargas resultantes. Es este sentido, deberá verificarse que el 50% de la carga última de las líneas de amarre (máxima carga admisible) <sup>(104)</sup>, sea mayor o igual que el valor característico o de compatibilidad de la carga de amarre máxima más probable en cada uno de ciclos de solicitud o condiciones de trabajo en los que se considere la actuación de cargas de amarre (para formulaciones deterministas o determinista-probabilista) o que la probabilidad de que se supere la carga última en dichos ciclos de solicitud sea menor que  $10^{-4}$  (criterio incondicional de no fallo para estados límite últimos), así como que la probabilidad de que las cargas de amarre en la línea de amarre exceda la máxima carga admisible (criterio incondicional de no fallo para estados límite de servicio) sea menor de 0,05 (para formulaciones probabilistas) <sup>(105)</sup>. En el caso de que se analice una situación de emergencia ante el fallo de una de las líneas de amarre, se considerará que la máxima carga admisible adoptada para la verificación del resto de las líneas de amarre en dicha situación es del 70% de la carga última.

En caso de incumplimiento será necesaria la reiteración del proceso adoptando un mayor número de líneas de amarre o mayores diámetros siempre que éstos se encuentren usualmente disponibles en el buque considerado.

#### ◆ Longitud de las líneas de amarre

Las líneas de amarre largas presentan ventajas respecto a las cortas desde el punto de vista de la eficiencia en lo que respecta a la resistencia de las cargas actuantes al dar lugar a menores ángulos verticales, así como un menor comportamiento dinámico del buque amarrado ante acciones actuantes de corto periodo, aunque en función de su longitud pueden dar lugar a mayores movimientos del buque para la misma carga actuante, lo que conlleva una reducción de las ventanas operativas y un aumento de los riesgos para la seguridad del buque. A su vez, este comportamiento reduce la posibilidad de que se produzcan sobretensiones en las líneas de amarre largas al disponer de un mayor margen de deformación.

Tomando en consideración el necesario equilibrio entre todos estos aspectos se recomiendan las siguientes longitudes para condiciones climáticas límite de permanencia en atraques Tipo I y II:

#### ■ Para configuraciones de atraque tipo muelle, pantalán o duques de alba (buque amarrado lateralmente)

- Para buques comerciales, pesqueros y para embarcaciones deportivas o de recreo con eslora mayor o igual de 25 m, las dimensiones óptimas de las amarras en carga, desde el punto de amarre en el buque hasta el punto de amarre en la obra de atraque, en situaciones operativas normales variará de 35 a 50 m según el tipo y tamaño de buque, recomendándose que no sea menor de 20 m.

Lo anterior se establece sin perjuicio de que puedan ser más largas cuando sea necesario en función de las características físicas, las condiciones locales en el emplazamiento y el

(104) Del lado de la seguridad, con el objeto de tomar en consideración los efectos de la fatiga, así como del deterioro, durante la vida útil de las amarras y que su carga real de rotura va reduciéndose progresivamente sobre la teórica, es recomendable considerar como máxima carga admisible el 40% de la carga última en lugar del 50% cuando no quede garantizado por requerimientos de explotación o de seguridad del buque una adecuada renovación y mantenimiento de las amarras. Por otra parte, en los buques con dispositivos de tensión constante el escalón más alto de tensión suele ser del orden del 40% de la carga de rotura de la amarra, por lo que es recomendable también por dichas razones adoptar este valor como máxima carga admisible para tomar en consideración que los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque dispongan y utilicen dispositivos de tensión constante, siempre y cuando se considere por criterios de explotación que éstos no puedan bloquearse al alcanzarse la escala más alta de tensión, continuando el buque en el puesto de atraque.

(105) Quedan exceptuadas de estas comprobaciones las condiciones de operación correspondientes a las maniobras de atraque cuando se considere la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante las maniobras de atraque.

equipamiento del atraque. En particular, la longitud de los largos, cuando las cargas sobre el buque actúan preponderantemente en un único sector direccional o cuando existan cargas longitudinales importantes, puede no ajustarse a las medidas recomendadas.

- Para embarcaciones pesqueras, deportivas o de recreo con esloras menores de 25 m podrán considerarse las siguientes longitudes óptimas:
  - Largos:  $0,3L$
  - Traveses:  $0,4B$
  - Esprines:  $0,8L$
 Siendo  $L$  y  $B$  la eslora total de la embarcación y su manga, respectivamente.

- Para configuraciones de atraque tipo monoboya, monodique de alba o campos de boyas (buque amarrado por proa y/o popa)

- Para buques comerciales y pesqueros, así como para embarcaciones deportivas y de recreo con eslora mayor o igual a 25 m, las longitudes oscilarán entre 40 – 55 m en función del tamaño de buque o embarcación (Ver apartado 8.8 de la ROM 3.1-99).
- Para embarcaciones pesqueras, deportivas o de recreo con esloras menores de 25 m podrá considerarse que las longitudes óptimas son  $0.30 L$ , siendo  $L$  la eslora total de la embarcación (Ver apartado 8.8 de la ROM 3.1-99).

Para condiciones climáticas de permanencia del buque en el atraque Tipo III (disposiciones de tormenta) pueden alcanzarse longitudes mayores de hasta 2.5 veces las definidas para condiciones Tipo I y II.

**b) Disposición estándar de sistemas de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado a un muelle, pantalán o conjunto de duques de alba**

Para buques amarrados lateralmente a una obra de atraque, se consideran diferentes disposiciones estándar de sistemas de amarre en función del desplazamiento y tamaño del buque, de la configuración del atraque y de las condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque asociadas a cada disposición.

A estos efectos, se diferenciarán las siguientes condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque, en función de la intensidad de los agentes:

- ◆ Condiciones Tipo I y II.
- ◆ Condiciones Tipo III (condiciones de tormenta).

La clasificación y definición de las condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque como Tipo I, II ó III se incluye en la tabla 4.6.4.49.

Las disposiciones estándar del sistema de amarre en función del desplazamiento y tamaño del buque y de la configuración del atraque, para cada una de estas condiciones climáticas, se recogen en las tablas 4.6.4.50, 4.6.4.51, 4.6.4.52, 4.6.4.53 y 4.6.4.54.

Las configuraciones estándar de sistemas de amarre incluidas en esta Recomendación deberán considerarse únicamente como un adecuado punto de partida, sin perjuicio de que deban adaptarse y optimizarse para cada emplazamiento y situación concretos en función de las características y frecuencia de los agentes actuantes <sup>(106)</sup>. En algunos casos, los niveles de operatividad de una terminal pueden variar mucho con la aplicación de dicho procedimiento de optimización.

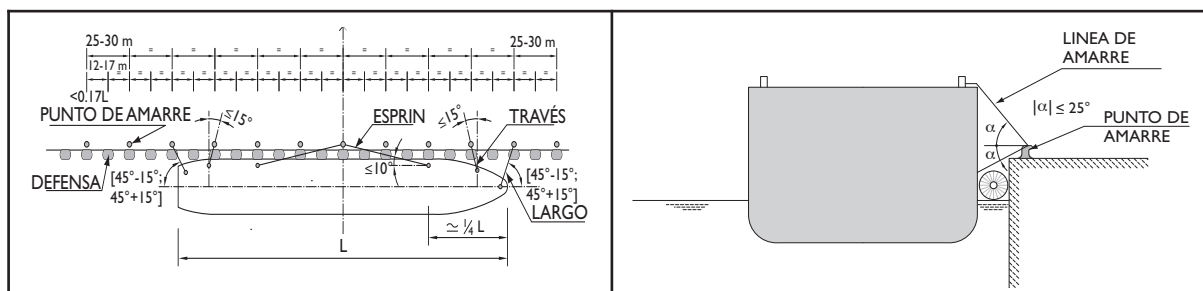
(106) Por ejemplo, los oleajes de 20 s de periodo son excepcionales en el Océano Atlántico, pero frecuentes en el Océano Pacífico, con lo que configuraciones muy recomendables en el primero pueden resultar no totalmente adecuadas para el Pacífico.

Tabla 4.6.4.49. Clasificación y definición de condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque

A. PARA BUQUES CON L ≥ 25 M								
		TIPO I	TIPO II			TIPO III		
Velocidad del viento (V <sub>v,1 min</sub> )		< 17 m/s	< 17 m/s	entre 17 y 25 m/s	< 25 m/s	entre 17 y 25 m/s	≥ 25 m/s	Cualquier valor
Velocidad de la corriente (V <sub>C,10 min</sub> )		< 1 m/s	≥ 1 m/s	< 1 m/s	< 1 m/s	≥ 1 m/s	< 1 m/s	Cualquier valor
Oleaje u ondas producidas por buques en tránsito <sup>1)</sup>	Altura de la ola (H <sub>1/3</sub> para oleaje ó H <sub>b,max</sub> para ondas producidas por buques en tránsito)	< 2 m para Δ ≥ 3000 t < 1 m para Δ < 3000 t	< 2 m para Δ ≥ 3000 t < 1 m para Δ < 3000 t		≥ 2 m para Δ ≥ 3000 t ≥ 1 m para Δ < 3000 t	< 2 m para Δ ≥ 3000 t < 1 m para Δ < 3000 t		≥ 2 m para Δ ≥ 3000 t ≥ 1 m para Δ < 3000 t
	Periodo (T̄ para oleaje ó T <sub>b</sub> para ondas generadas por buques en tránsito)	Cualquier valor	Cualquier valor		< 10 s para Δ ≥ 3000 t < 8 s para Δ < 3000 t	Cualquier valor		≥ 10 s para Δ ≥ 3000 t ≥ 8 s para Δ < 3000 t
Ondas largas (T) <sup>2)</sup>		No	No			No		
B. PARA BUQUES CON L < 25 M								
Velocidad del viento (V <sub>v,15 s</sub> )		< 18 m/s	< 18 m/s	entre 18 y 23 m/s	< 23 m/s	entre 18 y 23 m/s	≥ 23 m/s	Cualquier valor
Velocidad de la corriente (V <sub>C,10 min</sub> )		< 1 m/s	≥ 1 m/s	< 1 m/s	< 1 m/s	≥ 1 m/s	< 1 m/s	–
Oleaje u ondas producidas por buques en tránsito <sup>1)</sup>	Altura de la ola (H <sub>1/3</sub> para oleaje ó H <sub>b,max</sub> para ondas producidas por buques en tránsito)	< 0,4 m	< 0,4 m		< 0,4 m	< 0,4 m		≥ 0,4 m
	Periodo <sup>4)</sup> (T̄ para oleaje ó T <sub>b</sub> para ondas generadas por buques en tránsito)	> 8 s	> 8 s		< 8 s	Cualquier valor		Cualquier valor
Ondas largas (T) <sup>3)</sup>		Cualquier valor	Cualquier valor			Cualquier valor		
<b>Notas</b>								
1) Deberá quedar garantizado que no se produce rotura del oleaje o de las ondas producidas por buques en tránsito durante la permanencia del buque en el atraque. Es decir, no se considerará que el buque puede permanecer en el atraque cuando se produzca rotura del oleaje o de las ondas generadas por buques en tránsito.								
2) Para buques con eslora ≥ 25 m, siempre que se prevea la permanencia del buque en el atraque cuando se presenten oscilaciones marinas, tanto progresivas como estacionarias o cuasiestacionarias (dársenas resonantes) de periodo intermedio entre 30 s < T < 120 s se considerarán condiciones Tipo III, ya que los periodos naturales de oscilación de los movimientos horizontales de estos buques cuando están amarrados pueden estar próximos a estos periodos dependiendo del desplazamiento del buque, de la configuración y características del sistema de amarre y defensas y de la tensión de las líneas de amarre, y, además, a estos efectos el conjunto buque/sistema de amarre/defensas tiene muy baja capacidad de amortiguamiento.								
3) Los buques con eslora < 25 m no son afectados por las ondas largas en lo que respecta a la posibilidad de que se produzcan amplificaciones resonantes de las cargas de amarre, ya que los periodos de oscilación de los movimientos de estos buques cuando están amarrados suelen estar alejados de los periodos de las ondas largas. Por tanto, para este tipo de buques la presencia de ondas largas no será un parámetro significativo para la clasificación y definición de las condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque, salvo en lo que respecta al valor de las corrientes inducidas que puedan presentarse, las cuales se tomaran en consideración a estos efectos de acuerdo con lo dispuesto en la tabla para la velocidad de la corriente. Lo anterior se establece sin perjuicio de otros efectos que pueden producir las ondas largas en las obras de atraque para este tipo de embarcaciones, los cuales deberán tomarse en consideración (p.e. para determinación de niveles de coronación de las obras de atraque, fenómenos de resonancia en estructuras de atraque flotantes, ...).								
4) Al contrario que los buques con eslora ≥ 25 m, los buques con eslora < 25 m son afectados tanto por los oleajes de pequeño periodo como de periodo alto. No obstante lo anterior, con independencia de la altura de ola, las ondas de muy corto periodo (< 8 s) pueden afectar a estos buques en mayor medida ya que los periodos de oscilación de los movimientos horizontales y verticales de estos buques cuando están amarrados suelen estar próximos a estos periodos.								



**Tabla 4.6.4.50. Disposición estándar del sistema de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque continua (muelle o pantalán continuo), para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en atraques tipos I y II (para buques con  $L \geq 25$  m)**



Para buques con eslora  $L \geq 25$  m, amarrados lateralmente a una obra de atraque continua, considerando condiciones climáticas límite de permanencia en atraques Tipo I y II, la disposición óptima del sistema de amarre es la siguiente:

- El sistema de amarre estará formado, en la medida de lo posible, por traveses, esprines y largos, dispuestos simétricamente respecto al centro geométrico del buque. No obstante, no se dispondrán traveses cuando no sea posible mantener en los mismos, en todas las situaciones de permanencia del buque en el atraque, los ángulos verticales u horizontales de los mismos por debajo de los límites establecidos. Tampoco se dispondrán traveses cuando, no disponiendo el buque de maquinillas de tensión constante o de guardias de la tripulación con el mandato de mantener la tensión en las amarras, pueda producirse el destensado de los mismos por causa de los agentes climáticos u operacionales actuantes (p.e. común en puertos con marea astronómica significativa).
- Traveses: se situarán lo más a proa y popa posible. Se dispondrán sensiblemente perpendiculares al eje longitudinal del buque, pero considerándose admisibles disposiciones con tolerancias de  $\pm 15^\circ$  respecto a la perpendicular, con el objeto de que esta disposición pueda compatibilizarse con la posición de los puntos de amarre (bolardos, ...). El ángulo vertical máximo que forme el través con la horizontal no superará  $\pm 25^\circ$  en todos los estados climáticos considerados como condiciones Tipo I y II de permanencia del buque en el atraque, así como en todas las situaciones de carga del buque en dichas condiciones. La disposición básica incluye un través en proa y otro en popa. No obstante el número de traveses podrá aumentarse, duplicándose sobre un mismo punto de amarre o situando más en puntos intermedios de la eslora, con objeto de compatibilizar las cargas de amarre resultantes con las cargas última y admisible de las amarras disponibles y de los puntos de amarre considerados.
- Esprines: se situarán saliendo del buque a distancias de la proa y de la popa equivalentes a  $1/4$  de la eslora. Se dispondrán tan paralelas como sea posible al eje longitudinal del buque sin cruzarse entre ellas, si es posible, o con los traveses. Son admisibles disposiciones con ángulos horizontales de hasta  $10^\circ$  con la línea de atraque. Igualmente que para el caso de los traveses, el ángulo vertical máximo que forme el esprín con la horizontal no superará  $\pm 25^\circ$  en todos los estados climáticos considerados como Tipo I ó II de permanencia del buque en el atraque, así como en todas las situaciones de carga del buque en dichas condiciones. La disposición básica incluye dos esprines, pudiéndose duplicar cada uno de ellos con el objeto de compatibilizar las cargas de amarre resultantes con las cargas última y admisible de las amarras disponibles. Para grandes buques pueden también admitirse la disposición de dos pares de esprines, ubicándose entonces simétricamente a proa y popa.
- Largos: se situarán a proa y a popa. Se colocarán formando ángulos horizontales de  $45^\circ$  con la línea de atraque alejándose de la proa o popa respectivamente, admitiéndose tolerancias de hasta  $\pm 15^\circ$  con el objeto de que esta disposición pueda compatibilizarse con la posición de los puntos de amarre (bolardos, ...). El ángulo vertical máximo que forme el largo con la horizontal no superará  $\pm 25^\circ$  en todos los estados climáticos considerados como condiciones Tipo I y II de permanencia del buque en el atraque, así como en todas las situaciones de carga del buque en dichas condiciones. La disposición básica incluye un largo en proa y otro en popa. No obstante el número de largos podrá aumentarse, duplicándose sobre un mismo punto de amarre, con objeto de compatibilizar las cargas de amarre resultantes con las cargas última y admisible de las amarras disponibles. La disposición de largos es particularmente recomendable cuando las cargas predominantes sobre el buque actúen básicamente provenientes de un único sector direccional o se utilicen como elementos auxiliares para las operaciones de atraque y desatraque.
- Deberá disponerse un número suficiente de puntos de amarre y con un espaciamiento y altura tal que permita el amarre de todos los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque con la disposición tipo de amarras definida en esta tabla. En general, puntos de amarre situados en el cantil de la obra de atraque, sobre la coronación de la misma y con una separación entre ejes de 25 a 30 m suelen permitir estas disposiciones. La separación mínima entre la línea de atraque (cantil) y la parte más exterior del punto de amarre será, en todo caso, de 0,15 m. Se procurará, siempre que sea posible, situar los puntos de amarre en el eje de simetría de la sección resistente de la obra de atraque para mantener la simetría de cargas sobre la misma, debiéndose compatibilizar este principio con su espaciamiento. En caso contrario, la obra de atraque deberá resistir los momentos que puedan generarse.
- El número y separación entre ejes de defensas se definirá en función de los criterios establecidos a estos efectos en el apartado 4.6.4.3.2 correspondiente a los criterios para la elección del tipo y características del sistema de atraque. Sin perjuicio de lo anterior, se recomienda que la distancia entre defensas aisladas no exceda de 0,15-0,17L, siendo L la menor eslora de los buques esperables en el atraque, ni de 12-17 m. Se procurará, siempre que sea posible, situar las defensas en el eje de simetría de la sección resistente de la obra de atraque o simétricamente respecto a su eje de simetría, debiéndose compatibilizar este principio con su espaciamiento.

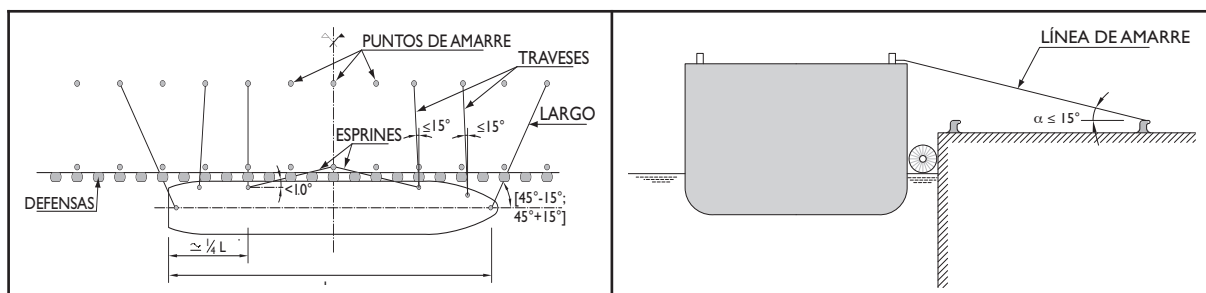
Con esta disposición óptima del sistema de amarre y con los tipos y longitudes de líneas de amarre recomendados en este apartado (ver subapartado a. criterios generales), los periodos naturales de oscilación del conjunto buque/sistema de amarre/defensas que se presentan son del siguiente orden de magnitud:



**Disposición estándar del sistema de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque continua (muelle o pantalán continuo), para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en atraques tipos I y II (para buques con  $L \geq 25$  m) (continuación)**

- Los correspondientes a movimientos horizontales de los buques amarrados (deriva, vaivén y guiñada) suelen estar en el rango entre 15 y 120 s, dependiendo del tipo y desplazamiento del buque, de las características de los sistemas de amarre y defensas y de la tensión de las líneas de amarre. Los periodos más bajos están asociados a los buques con menor desplazamiento (pequeños o mayores en situación de carga parcial o en lastre), a sistemas de amarre y defensa más rígidos y a líneas de amarre más tensionadas.
- Los correspondientes a movimientos verticales de los buques amarrados (alzada, balance y cabeceo) suelen estar en el rango entre 8 y 20 s, dependiendo del tipo y desplazamiento del buque pero no de la disposición del sistema de amarre. Los periodos más bajos están asociados a los buques de menor desplazamiento (los más pequeños o mayores en situación de lastre).

**Tabla 4.6.4.51. Disposición estándar del sistema de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque continua (muelle o pantalán continuo), para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque tipo III (para buques con  $L \geq 25$  m)**

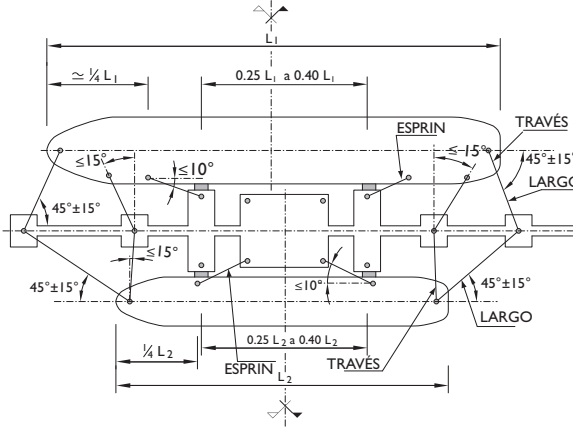
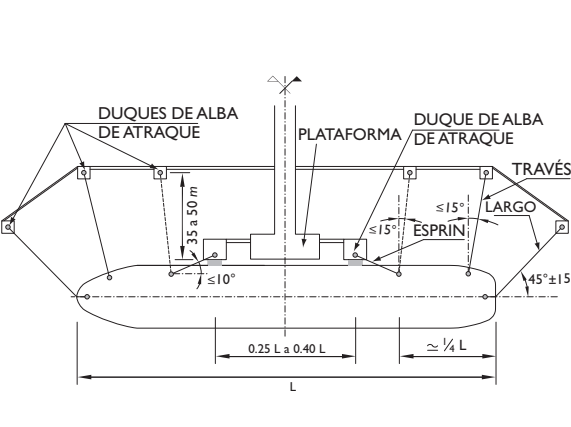


Para buques con eslora  $L \geq 25$  m, amarrados lateralmente a una obra de atraque continua, considerando condiciones climáticas límite de permanencia en el atraque Tipo III, la disposición óptima del sistema de amarre es la siguiente:

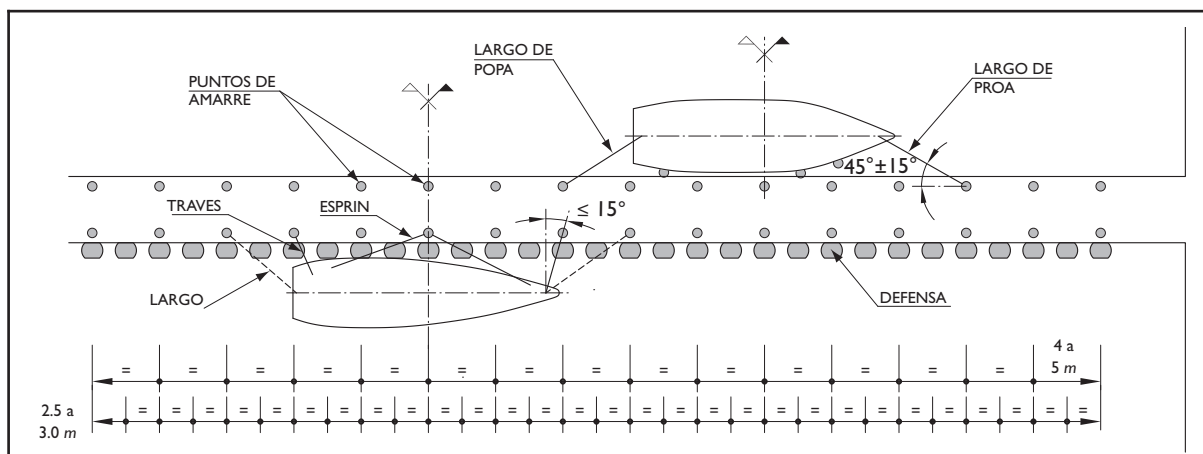
- El sistema de amarre estará formado por traveses, esprines y largos, dispuestos simétricamente respecto al centro geométrico del buque. La disposición de estas líneas de amarre deberá seguir los criterios desarrollados para condiciones climáticas Tipos I y II (Ver tabla 4.6.4.50) con las siguientes excepciones:
  - Las longitudes de las líneas de amarre deben ser mayores con el objeto de que los ángulos verticales de cada una de las líneas de amarre sean mucho más tendidos para mejorar tanto la eficiencia y capacidad del sistema de amarre para resistir las cargas actuantes como el comportamiento dinámico del buque amarrado frente a acciones de corto periodo. A su vez, líneas de amarre más largas reducen la posibilidad de que se produzcan sobretensiones al disponer de un mayor margen de deformación. El ángulo vertical máximo que formen los traveses, esprines y largos con la horizontal no superará  $\pm 15^\circ$  en todos los estados climáticos considerados como condiciones Tipo III de permanencia del buque en el atraque, así como en todas las situaciones de carga del buque en dichas condiciones.
  - Se aumentará el número de líneas de amarre, particularmente de traveses y esprines, duplicándose sobre el mismo punto de amarre o situando más en puntos intermedios de la eslora, con el objeto de repartir las resultantes de las cargas actuantes entre más líneas y puntos de amarre y, por tanto, reducir las deformaciones de las amarras y consiguientemente los movimientos horizontales del buque, así como compatibilizar las cargas de amarre resultantes con la carga última y admisible de las amarras disponibles y de los puntos de amarre.
- Deberá disponerse de un número suficiente de puntos de amarre y con un espaciamiento y altura tal que permita el amarre de todos los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque con la disposición tipo de amarras definida en esta tabla. En general, estas disposiciones son permitidas complementando los puntos de amarre situados en el cantil definidos en la tabla 4.6.4.50 con otra alineación paralela a la anterior con mayor o igual espaciamiento entre puntos de amarre, situada en la frontera lado tierra del área de operación o incluso más allá (en el caso de muelles) o, en su caso, en el lado de dicha área opuesto al cantil (p.e. en el caso de pantalanes atracables o no por ambos lados). No obstante lo anterior, para grandes buques las configuraciones tipo pantalán continuo difícilmente permiten disposiciones de puntos de amarre compatibles con condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque Tipo III.
- El número y separación entre ejes de defensas se definirá de igual forma que para condiciones Tipos II y III de permanencia del buque en el atraque (Ver tabla 4.6.4.50).
- En caso necesario para mantener el buque en el atraque en condiciones seguras, la disposición tipo del sistema de amarre para condiciones climáticas de permanencia del buque en el atraque Tipo III puede contemplar adicionalmente la introducción de coderas de iguales características que los largos, así como el auxilio de remolcadores. La definición de las coderas se incluye en la tabla 4.6.4.54.

Esta disposición de amarras, complementada con la normal utilización en estos casos de amarras de acero para disminuir los movimientos del buque (ver subapartado a. criterios generales de este apartado), puede dar lugar a que los periodos naturales de oscilación correspondientes a los movimientos horizontales del buque amarrado sean del orden de los valores inferiores del rango de variación consignado en la tabla 4.6.4.50. Por dicha razón, aunque no es usual que una configuración continua de atraque esté emplazada en zonas no abrigadas frente a la acción del oleaje y, en el caso de que lo sea, se considere la permanencia del buque en el atraque en condiciones Tipo III, en los casos que así sea deberá comprobarse específicamente que la disposición adoptada no da lugar a periodos naturales de oscilación del buque amarrado similares a los del oleaje actuante, con el objeto de evitar el comportamiento resonante del sistema. Por el contrario, esta disposición del sistema de amarre, si se utilizan amarras de fibras naturales o sintéticas, puede dar lugar a periodos de oscilación correspondientes a los movimientos horizontales del buque próximos a los de las ondas largas, por lo que es totalmente desaconsejable la utilización de este tipo de amarras cuando puedan presentarse este tipo de agentes. Los periodos de oscilación del buque correspondientes a movimientos verticales no dependen de la disposición del sistema de amarre (ver tabla 4.6.4.50).

**Tabla 4.6.4.52. Disposición estándar del sistema de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque continua, con pantalán discontinuo o solución mixta (para buques con  $L \geq 25$  m)**

PANTALAN DISCONTINUO	SOLUCIÓN MIXTA (DUQUES DE ALBA CON PLATAFORMA)
	
<p>– Para buques con eslora <math>L \geq 25</math> m, amarrados lateralmente a una obra de atraque discontinua, serán de aplicación las disposiciones óptimas de líneas de amarre definidas para configuraciones del atraque continuas, tipo muelle y pantalán continuo (ver tablas 4.6.4.50 y 4.6.4.51, respectivamente para condiciones climáticas límite de permanencia de buque en el atraque tanto Tipos I y II como Tipo III).</p> <p>– Debido a que las configuraciones de atraque discontinuas, bien sean del tipo pantalán o bien del tipo solución mixta (duques de alba con plataforma), se diferencian de las correspondientes a atraques continuos en que, sin perjuicio de poder tener en algunos casos funciones compartidas, suelen estar en gran medida formadas por estructuras específicas de atraque y de amarre física y funcionalmente separadas entre si y, ambas, de la plataforma de servicio, para la definición del número y distribución de los puntos de amarre y defensas se seguirán en estos casos los siguientes criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deberá disponerse, simétricamente respecto al centro geométrico del buque, un número suficiente de estructuras de amarre y con una disposición y altura que permita el amarre de todos los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque con la disposición tipo de amarras definida en las tablas 4.6.4.50 y 4.6.4.51 en función de que las condiciones adoptadas para la permanencia del buque en el atraque sean Tipos I y II o Tipo III. Para ello, puede considerarse que estructuras de atraque puedan ser simultáneamente de amarre (para esprines y traveses), así como utilizar las plataformas auxiliares como estructuras de amarre (para esprines), aunque procurando que las líneas de amarre no se crucen sobre la plataforma. En general, para soluciones mixtas (duques de alba con plataforma), las estructuras de amarre para traveses y largos con centros de simetría situados a una distancia de 35 a 50 m de la línea de atraque suelen adaptarse a las disposiciones de amarras establecidas tanto para condiciones climáticas de permanencia del buque en el atraque Tipos I y II como Tipo III. Para grandes buques, las configuraciones tipo pantalán discontinuo no favorecen una disposición de puntos de amarre compatible con condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque Tipo III. Los puntos de amarre se situarán en los ejes de simetría de las estructuras de amarre para mantener la simetría de cargas sobre la misma y preferentemente, cuando sea posible, en su centro de simetría. En caso contrario, deberán resistir los momentos que puedan generarse.</li> <li>• Las estructuras específicas de atraque o, en su caso, las defensas en las plataformas auxiliares deben estar situadas simétricamente respecto al centro geométrico del buque con un espaciamiento del orden de <math>1/3</math> de la eslora de todos los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, siempre y cuando en estas distancias el apoyo del buque en las estructuras de atraque se realice en la zona recta del casco del buque. En el caso que no fuera así serían admisibles distancias menores. No obstante, menores espaciamientos que los recomendados con carácter general podrían dar lugar a mayores movimientos de guiñada para las mismas cargas actuantes, reduciendo las ventanas operativas, mayores periodos naturales de oscilación para este movimiento, así como producir mayores esfuerzos de compresión en las defensas, siendo necesarios sistemas de defensas con una mayor capacidad de absorción de energía. En los casos en que el rango de buques de la flota esperable sea amplio podrán admitirse tolerancias entre el 25% y el 40% de la eslora de los buques. En caso de que no fuera posible compatibilizar estos valores de los espaciamientos para todos los buques de la flota esperable con dos estructuras de atraque o defensas deberán colocarse adicionalmente otras estructuras de atraque o defensas intermedias. Se procurará, siempre que sea posible, disponer las defensas en el eje de simetría de la sección resistente o, en el caso de que las plataformas auxiliares tengan funciones de estructuras de atraque, simétricamente respecto a su eje de simetría.</li> </ul> <p>– Con esta disposición óptima del sistema de amarre y defensa y con los tipos y longitudes de las líneas de amarre recomendadas en este apartado (ver subapartado a. criterios generales), los periodos naturales de oscilación del buque amarrado en estructuras de atraque con configuraciones discontinuas están en rangos similares a los que se presentan cuando el buque está amarrado en estructuras de atraque con configuraciones continuas con las disposiciones óptimas del sistema de amarre definidas para las mismas (ver tablas 4.6.4.50 y 4.6.4.51).</p>	

**Tabla 4.6.4.53. Disposición estándar del sistema de amarre para embarcación amarrada de costado a una obra de atraque continua, para condiciones climáticas límite de permanencia de la embarcación en los atraques tipos I y II (para embarcaciones con  $L < 25$  m)**



Para embarcaciones con eslora  $L < 25$  m amarradas lateralmente o de costado a una obra de atraque continua, considerando condiciones climáticas límite de permanencia de la embarcación en el atraque Tipo I y Tipo II, la disposición óptima del sistema de amarre es la siguiente:

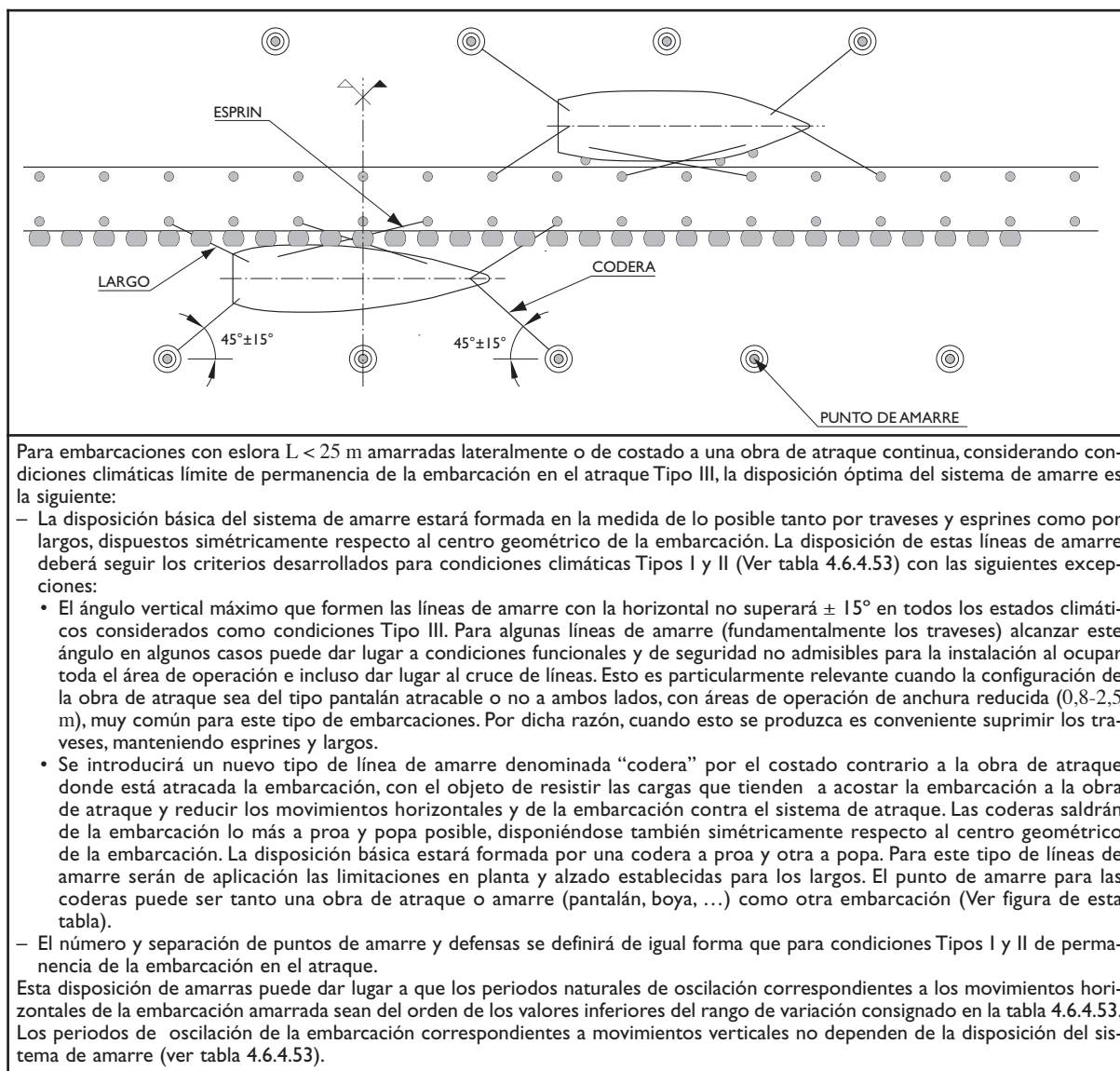
- El sistema de amarre puede estar formado por esprines, traveses y largos, saliendo de la embarcación lo más a proa y popa posible, dispuestos simétricamente respecto al centro geométrico de la embarcación. En general, para condiciones climáticas Tipo I y II de permanencia de la embarcación en el atraque será preferible considerar como disposición básica únicamente un traves y un esprín tanto a proa como a popa, prescindiendo de los largos. No obstante lo anterior, dada la pequeña obra muerta y superficie sumergida que presentan este tipo de embarcaciones, es admisible sustituir los traveses y sprines por largos, aunque esta disposición supone una mayor ocupación de línea de atraque por embarcación, particularmente cuando las cargas predominantes sobre la embarcación actúen básicamente provenientes de un único sector direccional, la situación de los puntos de amarre respecto al cantil o su separación entre ellos no permitan mantener los ángulos verticales u horizontales de los traveses por debajo de los límites establecidos o se utilicen largos como elementos auxiliares para facilitar las operaciones de atraque o desatraque. Para cada uno de los tipos de líneas de amarre, serán de aplicación las limitaciones en planta y alzado establecidas para estos mismos tipos de líneas cuando los buques tienen una eslora  $L \geq 25$  m (Ver tabla 4.6.4.50).
- Deberá disponerse un número suficiente de puntos de amarre y con un espaciamiento que permita el amarre de todas las embarcaciones pertenecientes a la flota esperable en el atraque con la disposición tipo de amarras definidas en esta tabla. En general, puntos de amarre situados en el cantil de la obra de atraque, sobre la coronación de la misma y con una separación entre ejes de 4 a 5 m suelen permitir estas disposiciones. La separación mínima entre la línea de atraque (cantil) y la parte más exterior del punto de amarre será de 0,08 m. Se procurará, siempre que sea posible, situar los puntos de amarre en el eje de simetría de la sección resistente de la obra de atraque para mantener la simetría de cargas sobre la misma, debiéndose compatibilizar este principio con su espaciamiento. En caso contrario, la obra de atraque deberá resistir los momentos que puedan generarse.
- En caso de disponer defensas fijas en la obra de atraque, se recomienda que la distancia entre defensas aisladas esté en el rango entre 2,5 y 3,0 m. Se procurará, siempre que sea posible, situar las defensas en el eje de simetría de la sección resistente de la obra de atraque o simétricamente respecto a su eje de simetría, debiéndose compatibilizar este principio con su espaciamiento. Con esta disposición óptima del sistema de amarre y con los tipos y longitudes de líneas de amarre recomendados en este apartado (ver subapartado a. criterios generales), los periodos naturales de oscilación del conjunto embarcación/sistema de amarre/defensas que se presentan son del siguiente orden de magnitud:
- Los correspondientes tanto a movimientos horizontales de las embarcaciones amarradas (deriva, vaivén y guiñada) como a verticales (alteada, balance y cabeceo) suelen estar en el rango entre 2 y 10 s, dependiendo del desplazamiento de la embarcación. Los periodos más bajos están asociados a las embarcaciones de menor desplazamiento entre las que tienen una eslora menor de 25 m.

**c) Disposición estándar de sistemas de amarre para buque amarrado por proa a un único punto de amarre: monoboya o monoduque de alba (amarraderos de orientación libre)**

Para buques amarrados por proa a un único punto de amarre, sea una monoboya o monoduque de alba, la disposición básica del sistema de amarre estará formada por una única enfilación de amarre dispuesta entre la proa del buque y la estructura de amarre, constituida, en función de las características de las amarras que se considere que van a estar disponibles en el amarradero <sup>(107)</sup>, por una o excepcionalmen-

(107) En general, en este tipo de obras, al contrario que en otras configuraciones de atraque, se utilizan amarras que se encuentran permanentemente almacenadas a flote en el amarradero y no embarcadas en el buque. Por dicha razón, el tamaño de las amarras que se consideren que deben estar disponibles en el amarradero es, en general, función del buque de máximo desplazamiento esperable en el atraque,

**Tabla 4.6.4.54. Disposición estándar del sistema de amarre para embarcación amarrada de costado a una obra de atraque continua, para condiciones climáticas límite de permanencia de la embarcación en el atraque tipo III (para embarcaciones con  $L < 25$  m)**



te por dos o más líneas de amarre. En el caso de que se consideren varias líneas de amarre su número deberá ser par con el objeto de mantener la simetría de cargas tanto en el buque como en la obra de amarre. La obra de amarre compatible con esta disposición del sistema de amarre deberá estar dotada de los mecanismos adecuados para permitir la orientación libre del buque, alineándose con la dirección que da lugar a la menor resultante de las cargas actuantes sobre el mismo.

Esta disposición del sistema de amarre tiene validez tanto para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque Tipo I ó II como III.

considerando una única línea de amarre o excepcionalmente dos o más líneas de amarre dependiendo de la composición de la flota esperable en el atraque y tomando en consideración la capacidad de resistir las cargas actuantes y simultáneamente la facilidad de manipulación de las amarras. Los dispositivos de sujeción de la amarras a la obra de atraque deberán estar preparados para el número máximo de amarras considerado.

La disposición estándar del sistema de amarre asociada con estas configuraciones de atraque se recoge en la tabla 4.6.4.55.

**Tabla 4.6.4.55. Disposición estándar del sistema de amarre para buques y embarcaciones amarrados por proa a un amarradero de orientación libre**

<p>Para buques y embarcaciones amarrados por proa a una monoboya o monodique de alba de orientación libre, la disposición óptima del sistema de amarre es la siguiente, con validez tanto para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque Tipos I ó II como Tipo III:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– El sistema de amarre estará formado por una única alineación, constituida por una o varias líneas de amarre paralelas en función de las características de las amarras disponibles en el amarradero. El ángulo vertical que formen estas líneas en carga con la horizontal no superará <math>25^\circ</math> en todos los estados climáticos y de situación de carga del buque en los que éste pueda permanecer en el atraque.</li> <li>– Las características y emplazamiento del punto de amarre deberá permitir el amarre de toda la flota de buques esperable en el atraque en el espacio disponible cumpliendo los requerimientos definidos en esta tabla. En el caso de obras de amarre flotantes ( monoboyas), para definir las características y emplazamiento del punto de amarre compatibles con estos requerimientos se deberá tomar en consideración el desplazamiento de dichos puntos desde sus posiciones de fondeo en cada uno de los estados climáticos y de situación de carga del buque considerados para la permanencia en el atraque. La cuantificación de estos desplazamientos en función del sistema de fondeo adoptado se recoge en la tabla 4.6.4.56.</li> </ul> <p>Con esta disposición del sistema de amarre y con los tipos y longitudes de líneas de amarre recomendados en este apartado (ver subapartado a. criterios generales), los periodos naturales de oscilación del buque amarrado que se presentan son del siguiente orden de magnitud:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Los correspondientes a los movimientos horizontales de vaivén, deriva y guiñada suelen estar en el rango entre 2 y 10 s para embarcaciones y buques hasta 10.000 t de desplazamiento y entre 15 s y varios minutos para buques de mayor desplazamiento.</li> <li>– Los correspondientes a los movimientos verticales no están influidos por esta disposición del sistema de amarre, siendo los correspondientes al buque o embarcación en flotación libre (Ver tablas 4.6.4.50 para buques con <math>L \geq 25</math> m y 4.6.4.53 para embarcaciones con <math>L &lt; 25</math> m).</li> </ul>

**Disposición estándar del sistema de amarre para buques y embarcaciones amarrados por proa a un amarradero de orientación libre (continuación)**

Los periodos son función del tipo y desplazamiento del buque o embarcación, así como de las características de la obra de amarre y particularmente, en el caso de las obras de amarre flotantes, de su sistema de fondeo [múltiples líneas de fondeo en catenaria (CALM en nomenclatura inglesa), línea de fondeo única tensionada (SALM en nomenclatura inglesa), ...], así como de la profundidad. Para cada uno de los rangos incluidos en esta tabla, los periodos más bajos suelen estar asociados a las embarcaciones y buques de menor desplazamiento, así como a las obras de amarre fijas o a las flotantes con sistemas de fondeo más rígidos (SALM más rígido que CALM) o fondeadas a profundidades menores.

**d) Disposición estándar de sistemas de amarre para buque amarrado a un campo de boyas (amarradero con orientación fija) <sup>(108)</sup>**

Para buques amarrados a un campo de boyas la disposición básica del sistema de amarre estará formada por entre dos y siete líneas de amarre y/o de fondeo saliendo del buque simultáneamente tanto por proa como por popa o en sus proximidades, dispuestas prácticamente simétricamente respecto al eje longitudinal del buque o embarcación y amarradas, en su caso, a boyas, conectadas o no entre sí, o a otros elementos fijos o flotantes. Algunas de las disposiciones básicas más habituales correspondientes a este sistema de amarre son:

- ◆ Amarre a dos boyas, una en proa y otra en popa
- ◆ Amarre a un punto de amarre por proa y dos por popa
- ◆ Fondeo con dos anclas por proa y amarre a dos puntos de amarre por popa.
- ◆ Amarre a dos puntos de amarre por proa y a dos por popa.
- ◆ Fondeo con dos anclas por proa y amarre a tres puntos de amarre por popa
- ◆ Sistemas múltiples constituidos por amarres y/o fondeos en proa y popa, con amarres laterales adicionales en las proximidades de proa y/o popa.

Más detalles sobre estas disposiciones se incluyen en el apartado 8.8 de la ROM 3.1-99.

Estas disposiciones del sistema de amarre tienen fundamentalmente validez para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque Tipo I ó II, así como con los agentes climáticos reinantes actuando básicamente en un único sector direccional, salvo para embarcaciones con  $L < 25$  m. En general, no se considerará que buques con eslora  $L \geq 25$  puedan estar amarrados a campos de boyas para condiciones climáticas de permanencia del buque en el atraque Tipo III.

Las disposiciones estándar del sistema de amarre asociadas con estas configuraciones de atraque para los distintos tamaños de buques se recogen en las tablas 4.6.4.56 y 4.6.4.57.

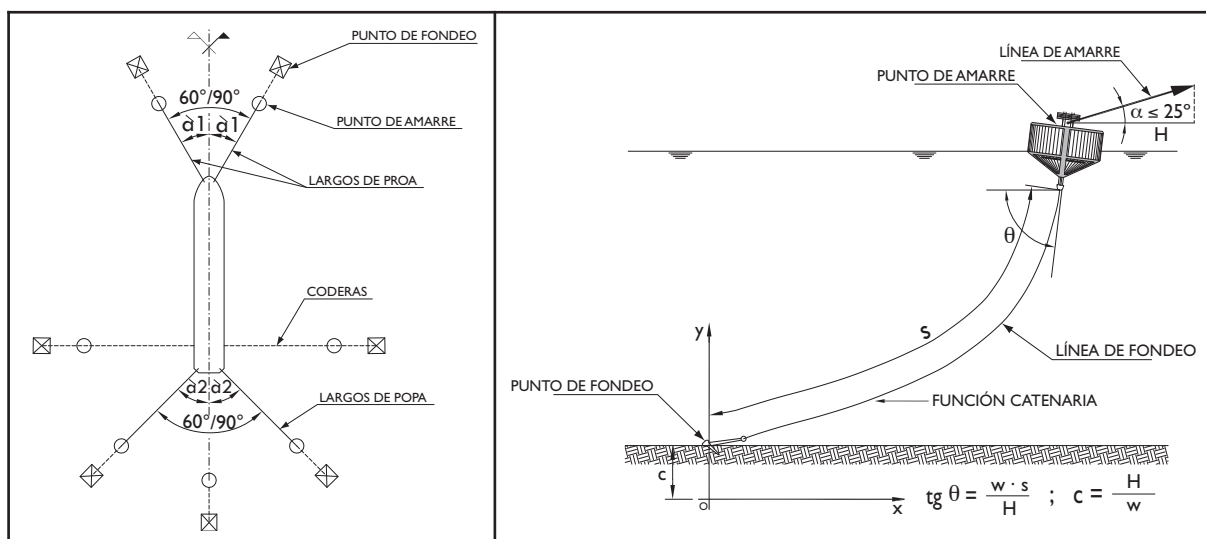
#### 4.6.4.7.1.2. Métodos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados

El método estadístico a partir de sistemas de amarre monitorizados está basado en la disponibilidad de registros fiables, completos y suficientes de las cargas de amarre desarrolladas en obras de atraque y amarre preexistentes por los diferentes tipos y características de buques que permanecen amarrados en la instalación por medio de un sistema de amarre y defensa de configuración y características determinadas, en las distintas condiciones climáticas y de situación de carga del buque en las que se considera la permanencia del mismo en el atraque.

(108) A los efectos de este subapartado se consideran campos de boyas a las instalaciones en las cuales los buques permanecen amarrados por proa y popa simultáneamente y en sus proximidades a boyas u otros elementos fijos o flotantes, con la utilización o no de las propias anclas de proa, mediante disposiciones de líneas de amarre o de fondeo simétricas respecto al eje longitudinal del buque. En base a esta definición, se considerarán incluidos en este subapartado los amarres de punta de embarcaciones y buques.



**Tabla 4.6.4.56. Disposición estándar del sistema de amarre para buques amarrados a un campo de boyas (para buques con  $L \geq 25$  m)**



Para buques con eslora  $L \geq 25$  m, amarrados a un amarradero con orientación fija, la disposición óptima del sistema de amarre es la siguiente:

- El sistema de amarre estará constituido por el número mínimo posible de líneas de amarre y/o fondeo en función del desplazamiento y tamaño del buque, de forma que permitan compatibilizar las características de las amarras disponibles en el buque con su capacidad de resistir la carga actuante asociada a cada disposición y con la facilidad de manejo y tensionado de las mismas. El número mínimo de líneas de amarre y/o fondeo para este tipo de buques no será menor de cuatro, dos a proa y dos a popa. Estas líneas se dispondrán simétricamente respecto al eje longitudinal del buque.
- Líneas de amarre o fondeo de proa (largos de proa): se dispondrán formando un ángulo en planta entre 60 y 90° sin cruzarse entre sí.
  - Las líneas de fondeo de proa deberán tener la longitud suficiente para, en cualquiera de los estados climáticos y situación de carga del buque considerados para la permanencia del buque en el atraque, la cadena en catenaria no transmita esfuerzos de tracción verticales al ancla; es decir, que el ángulo de la línea de fondeo con el fondo a la altura del arganeo del ancla sea prácticamente 0°. En caso contrario, el ancla podría perder gran parte de su poder de agarre y garrear. A su vez, esta longitud en cualquiera de dichos estados climáticos no será mayor que la mínima correspondiente a una carga igual a  $\frac{1}{4}$  de la carga última de la misma para evitar su rotura por peso propio. Como primera aproximación, podemos considerar que se cumple el primer requisito con longitudes mínimas de cadena a filar del orden de 3 a 5 veces el calado para el mayor nivel de agua compatible con los estados climáticos considerados para la permanencia del buque en el atraque (incluyendo oleaje), en función del desplazamiento y tamaño del buque y de que las condiciones de permanencia del buque en el atraque sean Tipo I ó II. Cálculos más exactos de las longitudes mínimas y máximas de las líneas de fondeo pueden realizarse con la formulación incluida en el apartado 8.7.3.e. de la ROM 3.I-99.
  - Las líneas de amarre de proa deberán tener una longitud entre el buque y el punto de amarre que permita que el ángulo vertical entre la línea de amarre en carga y la horizontal, en cualquiera de los estados climáticos y situación de carga del buque considerados para la permanencia del buque en el atraque, no supere 25°. Para verificar este requerimiento deberá tomarse en consideración, en el caso de que sean obras de amarre flotantes, el desplazamiento de los puntos de amarre en carga desde sus posiciones de fondeo en dichos estados.
- Líneas de amarre o fondeo de popa (largos de popa): las líneas de amarre o fondeo más exteriores se dispondrán formando un ángulo en planta entre 60 y 90° sin cruzarse entre sí, excepto en los casos de amarre de punta en se utilicen puntos de amarre situados en muelles, pantalanes o duques de alba y el espaciamiento entre los mismos no permita alcanzar dicho ángulo sin cruzarse.
- En su caso, la tercera línea de amarre se situará en el eje longitudinal del buque.
  - Las longitudes de las líneas de amarre o fondeo de popa, así como los ángulos verticales de las mismas con la horizontal, deberán cumplir los mismos requisitos que los definidos para las líneas de proa.
- Líneas de amarre o fondeo de costado (coderas): se situarán lo más a proa y/o a popa posible y, en cualquier caso, a una distancia de éstas no superior a  $\frac{1}{4}$  de la eslora. Se dispondrán sensiblemente perpendiculares al eje longitudinal del buque, pero considerándose admisibles disposiciones con tolerancias de  $\pm 5^\circ$  respecto a la perpendicular.
  - Las longitudes de las líneas de amarre o fondeo de costado, así como los ángulos verticales de las mismas con la horizontal, deberán cumplir los mismos requisitos que los definidos para las líneas de proa y de popa.
- Líneas de amarre de seguridad: en algunos amarraderos de orientación fija para buques de gran desplazamiento se disponen líneas de amarre adicionales en cada punto de amarre, generalmente de acero, permanentemente almacenadas en el amarradero. En general estas líneas no se consideran como líneas de amarre principales ya que no se pretensionan y, por tanto, no se considera que contribuyan al amarre del buque, siendo únicamente elementos de seguridad en caso de fallo de alguna línea de amarre.
- Deberá disponerse un número suficiente de puntos de amarre situados de forma que permita el amarre de todos los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque con la disposición tipo de amarras adoptada para el amarradero de orientación fija, cumpliendo los requerimientos definidos en esta tabla. Para definir las características y emplazamiento de los puntos de amarre compatibles con estos requerimientos, así como, en el caso de las obras de amarre flotantes, adicionalmente el posicionamiento del sistema de fondeo, se tendrá en cuenta el espacio disponible, así como los siguientes aspectos:



**Disposición estándar del sistema de amarre para buques amarrados a un campo de boyas  
(para buques con  $L \geq 25$  m) (continuación)**

- Los puntos de amarre en el caso de las obras fijas, así como los puntos de fondeo en las obras flotantes, se posicionarán simétricamente respecto al eje longitudinal del buque. En la medida en que la morfología del fondo marino lo permita, los puntos de amarre simétricos serán de iguales características y dimensiones con el objeto de conseguir la máxima simetría de cargas sobre el buque en la dirección en la que actúan las acciones más desfavorables.
- Cuando para el punto de amarre se adopten boyas fondeadas mediante cadena en catenaria, la longitud máxima de la línea de fondeo de la boya de amarre deberá cumplir los requisitos equivalentes a los señalados para las líneas de fondeo de los buques. Así mismo, en estos casos la longitud mínima dependerá del tipo de anclaje de dicha línea (con ancla, con muerto, o con pilotes u otros elementos capaces de resistir tracciones verticales).
  - Cuando el anclaje se realice mediante cadena en catenaria y ancla, para establecer la longitud mínima deberá compatibilizarse este parámetro con el ángulo vertical de la línea de amarre, la carga última de la misma y el peso por unidad de longitud de la línea de fondeo de la boya de amarre para que no se produzcan tracciones verticales en el ancla (ángulo de la línea de fondeo con el fondo a la altura del arganeo del ancla prácticamente igual a  $0^\circ$ ) ni pérdida de la situación de flotación de la boya. En este sentido, para una determinada carga de amarre, a mayores ángulos verticales de la misma (próximos a  $25^\circ$ ) son necesarios mayores pesos mínimos de la línea de fondeo pero pueden alcanzarse con menores longitudes de la misma sin producir tracciones en el ancla, lo que lleva a utilizar cadenas de mayor peso unitario por unidad de longitud y, por tanto, a mayores requerimientos de boyancia para la boya. Por el contrario, a menores ángulos verticales son necesarios menores pesos mínimos para la línea de fondeo los cuales pueden alcanzarse tanto con mayores longitudes aunque con menores pesos unitarios para la misma o viceversa. En este sentido, para resistir una misma componente horizontal, para pesos unitarios de cadena menores se necesita una mayor longitud de cadena para cumplir los requerimientos de tracción vertical nula en el ancla. A los efectos de alcanzar un equilibrio óptimo de estos parámetros en función de las características locales y, en su caso, de las limitaciones de espacio existentes en el emplazamiento, fijada la carga última de la línea de amarre se recomienda tantear las consecuencias que para la longitud de la línea de fondeo, los pesos unitarios de la cadena y las necesidades de boyancia de la boya tiene la adopción de ángulos verticales de la línea de amarre diferentes. Dichos tanteos se realizarán por medio de la aplicación de las ecuaciones de la función catenaria considerando que el origen de la misma está en el ancla situada en el fondo marino <sup>(109)</sup>. En cualquier caso, como a mayor ángulo vertical de la línea de amarre menor longitud necesaria de cadena de anclaje para que se eviten tracciones verticales en el ancla, cuando el espacio disponible sea muy limitado se recomienda disponer las líneas de amarre con ángulos lo más próximo posible a  $25^\circ$ . Como regla general práctica, sin perjuicio de tener que realizar las correspondientes comprobaciones y particularmente que se cumple el peso de la línea de fondeo para que no se produzca la pérdida de flotación de la boya, para que no se produzcan tracciones verticales en el ancla serían necesarias longitudes mínimas de línea de fondeo del orden de 7 veces el calado para el mayor nivel del agua compatible con los estados climáticos considerados para la permanencia del buque en el atraque (incluido oleaje).
  - Cuando el anclaje se realice mediante cadena en catenaria anclada a un muerto, pilote u otro elemento capaz de resistir tracciones verticales, la longitud mínima de la línea de fondeo podrá ser menor que la señalada para anclaje mediante ancla, en función de la capacidad resistente del anclaje a cargas verticales. El cálculo de esta longitud, así como el peso mínimo de muerto necesario asociado a la misma para un determinado peso de cadena por unidad de longitud, se obtendrá por medio de la aplicación de las ecuaciones de la función catenaria, considerando que el origen de dicha función no está en el muerto sino a una distancia del mismo por debajo del fondo (ver nota 20).
- Cuando para el punto de amarre se adopten boyas fondeadas mediante otros sistemas de fondeo [cadenas en disposición multicatenaria (p.e. mediante colocación de un muerto intermedio) o líneas de fondeo en tensión], el desplazamiento de la boya en carga podrá ajustarse a las necesidades del espacio disponible en el emplazamiento en función del tipo y características del sistema de fondeo adoptado.

Con esta disposición del sistema de amarre y con los tipos y longitudes de las líneas de amarre recomendados en este apartado (ver subapartado a. criterios generales) los periodos naturales de oscilación del conjunto buque/sistema de amarre son del siguiente orden de magnitud:

- Los correspondientes a movimientos horizontales de los buques amarrados (deriva, vaivén y guiñada) suelen estar en el rango entre 15 y 120 s, dependiendo del tipo y desplazamiento del buque, de las características del sistema de amarre y, en el caso de puntos de amarre flotantes, de su sistema de fondeo, así como de la tensión de las líneas de amarre. Los periodos más bajos están asociados a los buques con menor desplazamiento, a sistemas de amarre y, en su caso, de fondeo más rígidos, a menores profundidades de fondeo y a líneas de amarre más tensionadas. En este sentido, por ejemplo los amarraderos con un mayor número de líneas de amarre son más rígidos respecto a los que tienen menos y los puntos de amarre flotantes con sistemas de fondeo que utilizan anclajes con catenaria son menos rígidos que los que utilizan líneas de fondeo en tensión.
- Los correspondientes a movimientos verticales de los buques amarrados (alteada, balance y cabeceo) suelen estar en el rango entre 8 y 20 s, dependiendo del tipo y desplazamiento del buque pero no de la disposición del sistema de amarre. Los periodos más bajos están asociados con los buques de menor desplazamiento.

(109) Ecuaciones de la función catenaria (Ver figura tabla 4.6.4.56):

En cualquier punto (x, y) de la función se cumple:

$$V = w \cdot s = T \cdot \sin \theta \quad ; \quad H = w \cdot c = T \cdot \cos \theta = cte \quad ; \quad T = w \cdot y \quad ; \quad y = c \cdot \cosh(x/c) \quad ; \quad s = c \cdot \sinh(x/c)$$

Siendo:

Origen de coordenadas: definido a partir de considerar que la intersección de la función catenaria con el eje de ordenadas se produce cuando  $\theta = 0^\circ$  en el punto (0, c), siendo  $c = H/w$ .

T : Tensión en la cadena en el punto (x, y) = cte.

V : Componente vertical de la tensión (T) en el punto (x, y).

H : Componente horizontal de la tensión (T) en el punto (x, y).

$\theta$  : ángulo vertical de la función catenaria con la horizontal en el punto (x, y).

w : peso sumergido de la cadena por unidad de longitud.

s : longitud de la catenaria entre el punto (0, c) y el punto (x, y).

**Tabla 4.6.4.57. Disposición estándar del sistema de amarre para embarcaciones amarradas de punta a un campo de boyas y/o pantalán (para buques con  $L < 25$  m)**

<p> <math>\alpha_1</math> y <math>\alpha_2 \leq 25^\circ</math> - CONDICIONES CLIMÁTICAS DE PERMANENCIA DE LA EMBARCACIÓN EN EL ATRAQUE TIPOS I Y II  <math>\alpha_1</math> y <math>\alpha_2 \leq 10^\circ</math> - CONDICIONES CLIMÁTICAS DE PERMANENCIA DE LA EMBARCACIÓN EN EL ATRAQUE TIPO III         </p>	

Para embarcaciones con eslora  $L < 25$  m, amarradas de punta a un amarradero de orientación fija y/o a pantalanes (fingers), la disposición óptima del sistema de amarre es la siguiente:

- El sistema de amarre estará constituido por el número mínimo posible de líneas de amarre y/o fondeo en función de las condiciones climáticas consideradas como límite para la permanencia de la embarcación en el atraque con dicha disposición y de la compatibilidad de las amarras disponibles en este tipo de embarcaciones con su capacidad para resistir las cargas resultantes asociadas a cada disposición. Estas líneas se dispondrán simétricamente respecto al eje longitudinal de la embarcación. En cualquier caso, el número mínimo de líneas no será menor de tres, una a proa y dos a popa para condiciones climáticas de permanencia de la embarcación en el atraque Tipo I ó II y de cuatro, dos a proa y dos a popa, para condiciones climáticas Tipo III. Para estas líneas serán de aplicación las limitaciones en planta y alzado establecidas para cada una de ellas en el caso de buques con eslora  $L \geq 25$  m (Ver tabla 4.6.4.56). No obstante, para condiciones climáticas límite de permanencia de la embarcación en el atraque Tipo III se recomienda que el ángulo vertical de las líneas de amarre con la horizontal no supere  $10^\circ$ , así como duplicar cada una de las líneas de amarre con el objeto de reducir las deformaciones de las amarras ante cargas mayores y consiguientemente los movimientos horizontales de la embarcación en situación de tormenta.
- Deberá disponerse un número suficiente de puntos de amarre situados de forma que permita el amarre de todas las embarcaciones pertenecientes a la flota esperable en el atraque con la disposición tipo de amarras adoptada en el espacio disponible, cumpliendo los requerimientos definidos en esta tabla. Los puntos de amarre pueden estar situados tanto en muelles y pantalanes como en boyas (Ver figuras de esta tabla). Para definir las características y el emplazamiento de los puntos de amarre compatibles con estos requerimientos, en el caso de los puntos de amarre situados en obras flotantes se deberá tomar en consideración el desplazamiento de dichos puntos desde sus posiciones de fondeo en cada uno de los estados climáticos considerados para la permanencia en el atraque. La cuantificación de estos desplazamientos en función del sistema de fondeo se recoge en la tabla 4.6.4.56.

Con esta disposición óptima del sistema de amarre y con los tipos y longitudes de línea de amarre recomendados en este apartado (ver subapartado a. criterios generales), los periodos naturales de oscilación del conjunto embarcación/sistema de amarre que se presentan son del siguiente orden de magnitud:

- Los correspondientes tanto a movimientos horizontales como verticales de las embarcaciones amarradas suelen estar en el rango entre 2 y 10 s, dependiendo del desplazamiento de la embarcación, de las características del sistema de amarre y, en el caso de puntos de amarre flotantes, de la rigidez de su sistema de fondeo. Los periodos más bajos están asociados a las embarcaciones de menor desplazamiento y a sistemas de amarre y, en su caso, de fondeo más rígidos.

En la actualidad hay disponible tecnología suficiente para la realización de este tipo de registros y su almacenamiento, y su implantación es cada vez más frecuente como parte de sistemas completos de gestión de la seguridad del atraque y amarre y de las operaciones de carga y descarga, especialmente en terminales de productos petrolíferos, de gases licuados y de otras mercancías peligrosas. Estos sistemas en general registran tanto las cargas en las líneas de amarre, como las compresiones en las defensas y los movimientos de los buques, utilizando sistemas convertidores de cargas en señales eléctricas situados en los puntos de amarre para el registro de cargas de amarre y medidores de distancia láser o cámaras digitales situados en la obra de atraque para el registro de compresiones en las defensas y de los movimientos de los buques. Es decir, el objetivo principal de estos sistemas es detectar y evitar en tiempo real sobreten-siones en las líneas de amarre superiores a las previstas, compresiones excesivas en las defensas o movimientos elevados del buque que podrían dar lugar a la rotura de los elementos o equipos de amarre y defensa e, incluso, producir daños estructurales en el buque y en las infraestructuras de atraque, con consecuencias tanto para la seguridad del buque y de la navegación como para la seguridad de la vida humana y ambiental, así como reaccionar a tiempo utilizando medios adicionales (p.e. empleando remolcadores, duplicando amarras, ...) o medidas operativas correctoras (p.e. largando más longitud de amarras) que reduzcan riesgos y eviten dichas consecuencias. Así mismo, estos sistemas permiten controlar la secuencia de pretensado inicial de amarras para garantizar que las cargas sobre el buque se mantengan equilibradas y actuar frente a destensamientos posteriores de las líneas de amarre o a la existencia de tensiones inferiores a los niveles de pretensión de las mismas que podrían dar lugar a redistribuciones de cargas no previstas entre dichas líneas o en las defensas, así como aumentar los movimientos del buque, con consecuencias para la seguridad del mismo, de la operativa y de los equipos de manipulación de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros. El registro para el posterior análisis de las cargas de amarre es una utilidad añadida de los sistemas de amarre monitorizados, dirigidos más a la operación de la instalación de atraque que a su diseño previo.

Estos sistemas de gestión del atraque y amarre, si se complementan con registros simultáneos procedentes de equipos de medición de los agentes del medio físico, posibilitan un mayor nivel de segregación de la información registrada de gran utilidad para el análisis estadístico de las cargas de amarre en líneas de amarre y defensas y de los movimientos asociados a cada buque amarrado en cada estado meteorológico y de situación de carga del mismo, así como para la comprobación de la compatibilidad de dichos movimientos con los límites de operatividad establecidos tanto para la permanencia del buque en el atraque como para las operaciones de carga y descarga. También permitirían valorar la efectividad de los sistemas de amarre adoptados en dichos estados para mantener los movimientos horizontales del buque en los límites admisibles.

Este método integra automáticamente todos los factores que inciden en la valoración de las cargas de amarre, al ser el resultado del comportamiento real del conjunto buque/sistema de amarre/sistema de atraque en cada una de las condiciones climáticas, operacionales y de situación de carga en las que el buque puede permanecer en el atraque.

Mediante este método, en función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las cargas de amarre en cada punto de amarre se definirán:

#### **a) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilista**

Para formulaciones deterministas y deterministas-probabilistas se definirán los valores representativos de las cargas de amarre en los diferentes ciclos de sollicitación en los que se considere la actuación de esta acción (condiciones de trabajo operativas correspondientes a la permanencia del buque en el atraque, condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga de mercancías o embarque y desembarque de pasajeros, ...), adoptando bien las cargas máximas en cada una de las líneas de amarre bien las cargas máximas en las defensas como variables del agente cargas de amarre, en función de cuál de dichas acciones sea la más desfavorable para el modo de fallo analizado. En el caso de que la obra de atraque y amarre no incorpore sistemas de defensas (p.e. amarraderos de orientación libre o amarraderos de orientación fija), únicamente la carga máxima en las líneas de amarre será la variable que define a este agente.

**a<sub>1</sub>) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos**

- ◆ *En condiciones de operación correspondiente al estado límite de permanencia del buque en el atraque con una determinada configuración y características del sistema de amarre.* Para cada tipo de buque que ha permanecido amarrado en la instalación de atraque con una determinada configuración y características del sistema de amarre y situación de carga del mismo, los valores representativos de las cargas de amarre en esta condición de trabajo se definirán por medio de las funciones de densidad conjunta de las variables de estado carga máxima en cada una de las líneas de amarre, así como, en el caso de que el sistema de amarre incorpore defensas, por medio de las funciones de densidad conjunta de las variables de estado carga máxima en cada una de las defensas, obtenidas a partir de los registros disponibles correspondientes a cada buque y situación de carga en los estados meteorológicos y operativos límite asociados a dicha condición de trabajo <sup>(110)</sup>. La consideración de una u otra variable dependerá de cual es más desfavorable para el modo de fallo analizado.

Se adoptarán como valores representativos de las cargas de amarre en un elemento del sistema de amarre en esta condición de trabajo:

- El valor correspondiente al 95% de probabilidad de no excedencia en la función de distribución marginal de la variable carga de amarre máxima en el elemento del sistema de amarre considerado, en la condición climática límite asociada a esta condición de trabajo.

Cuando la flota de buques esperada en el atraque esté formada por buques de tipos y características y situaciones de carga diferentes deberán definirse los valores representativos de las cargas de amarre correspondientes a todos y cada uno de ellos debido a que no es posible discriminar a priori el tipo de buque y situación de carga del mismo que da lugar a los valores mayores. Simplificadamente, para la definición de las funciones de densidad podrán considerarse únicamente las situaciones extremas de máxima y mínima situación de carga con la que se presenta cada tipo de buque en la instalación de atraque.

Para definir el estado límite correspondiente a esta condición de trabajo, se considerará que el agente carga de amarre es el agente predominante, adoptándose como valores característicos de las cargas de amarre los más desfavorables para el modo de fallo analizado de entre los valores representativos asociados a cada tipo de buque y situación de carga. En general, el buque y situación de carga que produce las cargas de amarre más desfavorables dependerá de las características de los agentes climáticos y operacionales que actúan simultáneamente en el emplazamiento en la condición de trabajo considerada, del agente meteorológico predominante, del valor de las superficies sumergidas y emergidas del buque expuestas a los mismos en cada situación, así como de la relación existente entre las mismas. El estado meteorológico asociado al valor característico a la carga de amarre en el elemento del sistema de amarre y para el modo de fallo considerado, definido por las direcciones y sentidos de actuación, así como por los valores de los agentes atmosféricos y climáticos marinos actuantes que dan lugar al mismo, se considerará como estado meteorológico representativo de las condiciones de operación correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque, utilizándose a los efectos de la obtención de los valores compatibles de otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan de los agentes meteorológicos.

En el caso de que un punto de amarre pueda recibir cargas de amarre de atraques contiguos en función de las disposiciones de amarre establecidas por criterios de explotación, cuando su

(110) Con el objeto de poder disponer del mayor número posible de registros para la definición de las funciones de densidad conjunta correspondientes a las condiciones de trabajo límite de permanencia del buque en el atraque de forma fiable, a estos efectos se considerarán todos los registros disponibles correspondientes a los estados meteorológicos y operativos en los que se alcance por lo menos el 85% de alguno de los valores umbrales de las variables de los agentes actuantes sobre el buque amarrado que definen la condición límite para la permanencia del buque en el atraque.

actuación sea desfavorable para el modo de fallo analizado se adoptarán simplificadaamente como valores de compatibilidad de las cargas de amarre transmitidas por el atraque contiguo sus valores característicos obtenidos por los mismos criterios.

- ◆ *En condiciones de operación correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque con buque atracado.* Para cada tipo de buque que ha permanecido amarrado en la instalación de atraque con una determinada configuración y características del sistema de amarre y situación de carga del mismo, los valores representativos de las cargas de amarre en esta condición de trabajo se definirán de forma equivalente a la establecida para condiciones de operación correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque a partir de los registros disponibles correspondientes a dicho buque y situación de carga en los estados meteorológicos u operativos compatibles con el definido como representativo de las condiciones de operación correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque, adoptado para dicho buque y modo de fallo a los efectos de determinación de las cargas de manipulación <sup>(111)</sup>.

Para definir el valor de compatibilidad de las cargas de amarre en el estado límite correspondiente a esta condición de trabajo, se adoptarán como valores de combinación de las cargas de amarre los más desfavorables para el modo de fallo analizado de entre los valores representativos asociados a cada tipo de buque y situación de carga obtenidos para dicha condición de trabajo.

De igual forma, en el caso de que un punto de amarre pueda recibir cargas de amarre de atraques contiguos en función de las disposiciones de amarre establecidas por criterios de explotación, en el caso de que su actuación sea desfavorable para el modo de fallo analizado se adoptarán simplificadaamente como valores de compatibilidad de las cargas de amarre transmitidas por el atraque contiguo sus valores de combinación obtenidos por los mismos criterios.

- ◆ *En condiciones de operación correspondientes al estado límite de operaciones de atraque.* Esta condición de trabajo únicamente se tomará en consideración en aquellos casos en los que el elemento del sistema de amarre considerado o la estructura de atraque pueda recibir las cargas de amarre de atraques contiguos y/o los criterios de explotación de la instalación establecidos por el Promotor consideren específicamente la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante las maniobras de atraque y la actuación de dichas cargas sea desfavorable para el modo de fallo analizado.

Para las cargas de amarre procedentes de atraques contiguos, los valores de compatibilidad de las cargas de amarre en esta condición de trabajo se definirán de forma equivalente a lo establecido para estos casos en condiciones de operación correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque, pero considerando los registros correspondientes a los estados meteorológicos y operativos límite asociados a las maniobras de atraque en la instalación considerada <sup>(112)</sup>.

(111) Con el objeto de disponer del mayor número posible de registros para la definición de las funciones de densidad conjunta correspondientes a las condiciones de trabajo límite de realización de las operaciones de carga y descarga o de embarque y desembarque de forma fiable, a estos efectos se considerarán todos los registros disponibles correspondientes a los estados meteorológicos y operativos en los que se alcance por lo menos el 85% de alguno de los valores umbrales de las variables de los agentes actuantes sobre el buque amarrado que definen la condición límite para la realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros con buque atracado.

(112) Con el objeto de disponer del mayor número posible de registros para la definición de las funciones de densidad correspondientes a las condiciones de trabajo límite de operaciones de atraque de forma fiable, a estos efectos se considerarán todos los registros disponibles correspondientes a los estados meteorológicos y operativos en los que se alcance por lo menos el 85% de alguno de los valores umbrales de las variables de los agentes actuantes sobre el buque amarrado que definen la condición límite para la realización de las maniobras de atraque, siempre que no superen esa condición.

Para las cargas de amarre debidas a la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante la maniobra de atraque, los valores representativos de las cargas de amarre correspondientes a estas líneas en esta condición de trabajo se definirán para cada tipo y característica de buque que atraca utilizando estos elementos auxiliares, a partir de los registros disponibles correspondientes a las condiciones climáticas límite asociadas a las operaciones de atraque (Ver Nota 23), de forma equivalente a la establecida para condiciones de operación correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque. Los valores de compatibilidad de estas cargas a tomar en consideración en el estado límite correspondiente a la condición de trabajo de operaciones de atraque serán los valores representativos correspondientes al buque al que está asociado el valor característico de la energía cedida al sistema de atraque durante la maniobra de atraque (ver apartado 4.6.4.4.3).

- ◆ *En condiciones extremas y excepcionales.* En aquellos casos en los que la presentación de un agente climático no sea causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque, en general no será posible mediante métodos estadísticos la definición suficientemente precisa de los valores de compatibilidad de las cargas de amarre a tomar en consideración en condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de un agente climático de carácter extraordinario (ver apartado 4.1.1.1.1) al no estar normalmente disponibles o estar disponibles en un número insuficiente de años registros correspondientes a los estados meteorológicos que definen estas condiciones extremas o excepcionales de proyecto (condiciones de temporal).

No obstante lo anterior, en el caso de que existan suficientes registros disponibles de las cargas de amarre simultáneamente con registros de los agentes climáticos en condiciones de temporal, para cada tipo de buque y situación de carga, los valores representativos de las cargas de amarre en estas condiciones podrán obtenerse a partir de la definición de las funciones de distribución de las cargas de amarre condicionadas a los valores representativos en condiciones extremas o excepcionales adoptados para la variable climática que define el estado extremal o excepcional considerado. El valor de compatibilidad de la carga de amarre en estas condiciones de trabajo será el más desfavorable para el modo de fallo analizado entre los valores asociados al cuantil del 85% de las funciones de distribución condicionadas al valor representativo adoptado para la variable climática, correspondientes a cada uno de los tipos de buque y situación de carga de los mismos.

Para condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental, así como para condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica, se adoptarán como valores de compatibilidad de la variable de las cargas de amarre, cuando su actuación sea desfavorable para el modo de fallo analizado, los valores frecuentes o cuasi-permanentes en función del estado límite de proyecto considerado y el modo de fallo analizado (Ver apartado 4.1.1.1.1). Los valores frecuentes o cuasi-permanentes de la variable principal serán los correspondientes al cuantil del 85% y del 50%, respectivamente, de la función de distribución media marginal de dicha variable; es decir, de la función obtenida a partir de todos los registros disponibles, sin segregación por tipo de buque, situación de carga o condición climática.

#### **a<sub>2</sub>) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límites de servicio**

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación en cada condición de trabajo sea la combinación poco probable o fundamental será de aplicación lo dispuesto en el subapartado a<sub>1</sub>) de este apartado para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos. Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicables sea la combinación frecuente o cuasi-permanente (ver apartado 4.1.1.2) se adoptarán como valores representativos de las cargas de amarre los valores frecuentes y cuasi-permanentes definidos en el subapartado anterior.



**a<sub>3</sub>) Para la verificación de modos de parada operativa**

No es posible mediante métodos estadísticos basados en el registro de las cargas de amarre la verificación directa del modo de parada operativa correspondiente a la suspensión de la permanencia del buque en el atraque, aunque se complementen o asocien con registros simultáneos de los agentes del medio físico. No obstante, cuando se disponga de estos últimos registros, el proyectista podría conocer los valores umbrales de las variables de los agentes climáticos que actuando simultáneamente limitan realmente la permanencia de cada buque, en cada situación de carga, en la instalación de atraque considerada, con una determinada configuración y características del sistema de amarre. En el caso de que se dispusiera de estos registros para cada una de las causas de suspensión de la permanencia del buque en el atraque, una vez conocidos de esta forma los valores umbral de los agentes climáticos asociados a cada una de dichas causas, para la verificación de este modo de parada operativa podrá procederse de igual forma que lo establecido a estos efectos en esta Recomendación para los otros métodos de determinación de las cargas de amarre (Ver apartados 4.6.4.4.7.1.3. y 4.6.4.4.7.1.4).

Los valores representativos de las cargas de amarre, utilizando para su determinación métodos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados, ser resumen en la tabla 4.6.4.58.

**Tabla 4.6.4.58. Valores representativos de las cargas de amarre, utilizando para su determinación métodos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados**

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO Y VALOR DE COMBINACIÓN
Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes a permanencia del buque en el atraque (CT1,3)	El más desfavorable para el modo de fallo analizado de entre los valores representativos asociados a cada tipo de buque y situación de carga que compone la flota esperable en el atraque, siendo el valor representativo correspondiente a cada tipo de buque el asociado al cuantil del 95% en la función de distribución marginal de la variable de la carga de amarre considerada, en la condición climática y operativa límite asociada a esta condición de trabajo.
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR DE COMBINACIÓN
Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes a la realización de las Normales operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque con buque atracado (CT1,1)	El más desfavorable para el modo de fallo analizado de entre los valores representativos asociados a cada tipo de buque y situación de carga que compone la flota esperable en el atraque, siendo el valor representativo correspondiente a cada tipo de buque el asociado al cuantil del 95% en la función de distribución marginal de la variable de la carga de amarre considerada, en la condición climática y operativa límite asociada a esta condición de trabajo.
Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes a las operaciones de atraque (CT1,2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Para cargas de amarre procedentes de líneas de amarre de atraques continuos (cuando dicha carga sea desfavorable para el modo de fallo analizado): El valor de combinación de la carga de amarre se obtendrá de forma equivalente que en el caso de condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga, pero considerando la condición climática límite asociada a las maniobras de atraque.</li> <li>– Para las cargas de amarre debidas a la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante la maniobra de atraque (cuando dicha carga sea desfavorable para el modo de fallo analizado): El valor de combinación se obtendrá de forma equivalente a lo establecido en esta tabla para el valor representativo de las cargas de amarre en condiciones operativas correspondientes a la permanencia del buque en el atraque, para el buque al que está asociado el valor característico de la energía cedida al sistema de atraque durante la maniobra de atraque y en las condiciones climáticas límite asociadas a las operaciones de atraque.</li> </ul>
Condiciones de Trabajo Extremas y Condiciones Excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario (en aquellos casos en los que no se limite la permanencia del buque en el atraque) (CT2 y CT3,1)	El más desfavorable para el modo de fallo analizado entre los asociados al cuantil del 85% de las funciones de distribución de las cargas de amarre condicionada al valor representativo adoptado para la variable climática predominante que define la condición de trabajo extrema o excepcional, correspondientes a cada uno de los tipos de buque y situación de carga de los mismos que componen la flota esperable en el atraque.



**Valores representativos de las cargas de amarre, utilizando para su determinación métodos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados (continuación)**

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental (CT3,2) <sup>1)</sup>	Valor asociado al cuantil del 85% de la función de distribución media marginal de la carga de amarre considerada.	Valor asociado al cuantil del 50% de la función de distribución media marginal de la carga de amarre considerada.
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CUASI-PERMANENTE	
Condiciones de Trabajo Extremas y Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	Valor asociado al cuantil del 50% de la función de distribución media marginal de la carga de amarre considerada.	

**Notas**  
1) Se adoptará como valor representativo el valor frecuente cuando las cargas de amarre sean el agente variable predominante para el modo de fallo analizado. En el caso de que las cargas de amarre no sean el agente variable predominante se adoptará como valor representativo el valor cuasi-permanente.

**b) Para formulaciones probabilistas**

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación de los modos de fallo en los que intervengan únicamente las cargas de amarre con otros factores directamente correlacionados con las mismas o éstas conjuntamente con otros factores independientes de las mismas o de los agentes de los que dependen, las cargas de amarre, correspondientes a cada tipo y situación de carga del buque, en un elemento del sistema de amarre en cada condición de trabajo operativa (permanencia del buque en el atraque, realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros con buque atracado y operaciones de atraque) se definirán por medio de las funciones de distribución marginales de la variable que caracteriza al agente carga de amarre (carga máxima en la línea de amarre, carga máxima en las defensas o carga máxima en el punto de amarre), en las condiciones climáticas límite asociadas a dicha condición operativa. Estas funciones podrán definirse por medio de las funciones de densidad conjunta de los registros disponibles correspondientes a las condiciones climáticas y operativas límite asociadas a cada condición de trabajo operativa (Ver notas 21, 22 y 23).

Siempre que no se limite la permanencia del buque en el atraque para un determinado agente meteorológico, para la verificación de los modos de fallo en condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de un agente climático de carácter extraordinario, para cada tipo y situación de carga del buque, las cargas de amarre se definirán por medio de las funciones de distribución de la variable que caracteriza dichas cargas en el elemento del sistema de amarre considerado, condicionadas a los diferentes valores extremos de la variable climática que define el estado meteorológico o excepcional considerado. Estas funciones podrán definirse por medio de las funciones de densidad conjunta de los registros simultáneos disponibles correspondientes a cargas de amarre y variables climáticas en condiciones de temporal.

Para la verificación de modos de fallo en condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental, así como en condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica, la variable de las cargas de amarre considerada para el modo de fallo analizado se definirá por medio de la función media marginal de dicha variable, obtenida a partir de todos los registros disponibles, sin segregación por tipo de buque, situación de carga o condición climática.

Para la verificación mediante formulaciones probabilísticas de modos de fallo últimos o de servicio en los que intervengan conjuntamente con las cargas de amarre otros factores dependientes de alguno de los agentes de los que éstas dependen, deberían definirse funciones de distribución de la

variable que caracteriza al agente carga de amarre, condicionadas a los distintos valores del agente o agentes comunes del que dependen los factores de actuación simultánea, con el objeto de considerar valores compatibles de todos los factores que intervienen en el proceso de verificación (p.e. funciones de distribución de las cargas de amarre condicionadas a la velocidad y dirección del viento cuando deba considerarse que actúan simultáneamente que las cargas de manipulación de mercancías).

Dada la estrecha dependencia de los registros de cargas de amarre con las condiciones locales existentes en el emplazamiento y con la configuración y características del sistema de amarre y defensas para cada tipo de buque, la extrapolación de las funciones de densidad y distribución, así como de los valores representativos de las cargas de amarre asociados a las mismas, no pueden generalizarse y son únicamente aplicables en el emplazamiento en que se han obtenido los registros o en emplazamientos en los que se den condiciones climáticas similares, siempre que se utilice idéntica configuración y características del sistema de amarre y defensas. En cualquier caso, para su utilización en otros emplazamientos deberá valorarse expresamente si dichas funciones de distribución y los valores representativos asociados pueden considerarse suficientemente fiables y representativas para los mismos.

#### 4.6.4.4.7.1.3. Modelos matemáticos

Cuando no se disponga de registros fiables, completos y suficientes de las cargas de amarre en obras de atraque que puedan extrapolarse a la situación considerada de acuerdo con lo previsto en el apartado anterior, para la determinación de estas cargas deberán utilizarse modelos matemáticos y/o experimentales.

El tratamiento matemático del comportamiento dinámico del sistema buque/amarras/defensas/estructura de atraque sometido a la acción de fuerzas exteriores no es sencillo en razón de la gran cantidad y diferente naturaleza de las variables que intervienen en el proceso. Por dicha razón, los modelos analíticos tradicionales, únicos modelos matemáticos disponibles hasta hace algunos años, no se consideran de mucha fiabilidad para aquellos casos en los que pueden producirse comportamientos resonantes del buque amarrado, aunque se consideran suficientemente precisos para atraques situados en zonas abrigadas cuando no actúan ondas largas ni grandes corrientes. En estas condiciones hay muchas obras de atraque proyectadas con ellos que vienen prestando un servicio satisfactorio. Por las razones señaladas, hasta la aparición de modelos numéricos fiables ha venido siendo prácticamente imprescindible la realización de ensayos complementarios en modelo físico de buques atracados para la determinación o validación de las cargas de amarres y los movimientos asociados de los buques amarrados. Ésto es especialmente necesario en amarraderos de orientación libre (monoboyas y monoduques de alba) y de orientación fija (campos de boyas), en general cuando la estructura de atraque es flotante o, independientemente de la tipología de la estructura de atraque, cuando las condiciones climáticas límite adoptadas para la permanencia del buque en el atraque se definan como Tipo III de acuerdo con lo establecido en la tabla 4.6.4.49 y, particularmente, cuando sean significativos en el emplazamiento el oleaje, las ondas largas, las corrientes longitudinales o los efectos hidrodinámicos generados por el paso de buques en tránsito que pueden actuar sobre el buque amarrado, ya que en estos casos pueden producirse amplificaciones dinámicas relevantes. Es decir, la validez de los modelos analíticos tradicionales para la determinación de las cargas de amarre estará limitada a aquellos casos en los que los periodos de las componentes relevantes de las fuerzas resultantes de la actuación de acciones exteriores sobre el buque amarrado estén alejados de los periodos naturales de oscilación de los movimientos horizontales del buque amarrado.

En la actualidad, los avances recientes en las técnicas computacionales han permitido el desarrollo y disponibilidad comercial de herramientas numéricas más avanzadas que permiten la completa modelización del comportamiento del buque amarrado sometido a la acción del conjunto de fuerzas exteriores, cualesquiera que éstas sean, con suficiente precisión. Por dicha razón, la utilización de los modelos analíticos quedará limitada con carácter general a la realización de estudios previos y al predimensionamiento inicial de la configuración y características del sistema de amarre y defensas capaz de resistir los efectos de las acciones exteriores que actúan sobre el buque, manteniendo simultáneamente los movimientos de éste en valores admisibles, sin perjuicio de su fiabilidad suficiente para obras de atraque fijas situadas en zonas abrigadas para buque amarrado

lateralmente o de costado, cuando las condiciones de permanencia del buque en el atraque se definan como Tipos I y II.

Por otra parte conviene señalar que la utilización cada vez más frecuente de dispositivos (chigres) de tensión constante en los buques puede simplificar mucho la determinación de las cargas en las líneas de amarre (no así de las cargas sobre las defensas ni los movimientos del buque), al estar limitado el escalón máximo de tensión posible en estos dispositivos a un valor del orden del 40% de la carga última de las amarras disponibles a bordo, siempre y cuando con dicha tensión y la configuración y características adoptada para el sistema de amarre sean admisibles los movimientos del buque amarrado y las cargas generadas sobre las defensas en la condición de trabajo considerada.

#### a) Modelos analíticos

Los modelos matemáticos analíticos tradicionales utilizados para determinar las cargas de amarre se basan en una simplificación respecto a la naturaleza dinámica del sistema buque/sistemas de amarre/defensas/estructura de atraque, estableciendo las ecuaciones del equilibrio estático en el estado considerado, de modo que la componente cuasi-estática (valor medio) horizontal de las fuerzas restauradoras producidas por los sistemas de amarre y atraque igualen a la componente cuasi-estática (valor medio) horizontal de la resultante de las acciones exteriores sobre el buque. Es decir:

$$\begin{aligned}\Sigma R_L &= 0 \\ \Sigma R_T &= 0 \\ \Sigma M_{CG} &= 0\end{aligned}$$

Siendo:

- $\Sigma R_L$  : Suma de las componentes cuasi-estáticas en el sentido longitudinal del buque de las fuerzas exteriores y de las fuerzas restauradoras producidas por los sistemas de amarre y atraque.
- $\Sigma R_T$  : Suma de las componentes cuasi-estáticas en el sentido transversal del buque de las fuerzas exteriores y de las fuerzas restauradoras producidas por los sistemas de atraque y amarre.
- $\Sigma M_{CG}$  : Suma de momentos de eje vertical en el centro de gravedad del buque de las componentes cuasi-estáticas de las fuerzas exteriores y de las fuerzas restauradoras producidas por los sistemas de atraque y amarre.

Las componentes cuasi-estáticas de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque <sup>(113)</sup> se considera que se distribuyen entre los distintos elementos que componen los sistemas de amarre, defensa y atraque en función de la configuración, de las características geométricas y de las propiedades resistentes y de deformación de los mismos, así como de la pretensión o compresión inicial o mantenida a la que están sometidas, en su caso, las líneas de amarre y las defensas, respectivamente. Para ello, con carácter general deberá solucionarse el sistema de ecuaciones que surja de plantear, sin considerar que se produce acoplamiento entre los movimientos del buque:

- ◆ la compatibilidad entre los movimientos de deriva, vaivén y guiñada del buque, considerados independientes entre sí, y las deformaciones de las líneas de amarre, defensas y estructura de atraque.
- ◆ el equilibrio entre la resultante horizontal de la componente cuasi-estática de los esfuerzos generados en líneas de amarre y defensas, así como eventualmente en la obra de atraque, correspondiente a estos movimientos con la componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores que actúan sobre el buque.

(113) A las componentes cuasi-estáticas de las resultantes horizontales de las fuerzas exteriores que actúan sobre el buque se las conoce generalmente como fuerzas de deriva.

La aplicación práctica de este procedimiento, considerando rígida la obra de atraque y órdenes de magnitud de los máximos movimientos del buque amarrado pequeños, puede realizarse mediante la siguiente formulación general:

- I. En las líneas de amarre se cumplen las siguientes relaciones (Ver figura 4.6.4.33):

$$\Delta Q_{v,46,m,i} = \frac{\Delta Q_{v,46,m,i]T}}{\text{sen}\alpha_{m,i} \cdot \cos\beta_{m,i}} = \frac{\Delta Q_{v,46,m,i]L}}{\cos\alpha_{m,i} \cdot \cos\beta_{m,i}} = \frac{\Delta Q_{v,46,m,i]V}}{\text{sen}\beta_{m,i}}$$

Es decir:

$$\Delta Q_{v,46,m,i]T} = \Delta Q_{v,46,m,i} \cdot \text{sen}\alpha_{m,i} \cdot \cos\beta_{m,i} = (E_{m,i} \cdot A_{m,i} \cdot \varepsilon_{m,i}) \cdot \text{sen}\alpha_{m,i} \cdot \cos\beta_{m,i} = k_{m,i]T} \cdot \varepsilon_{m,i}$$

$$\Delta Q_{v,46,m,i]L} = \Delta Q_{v,46,m,i} \cdot \cos\alpha_{m,i} \cdot \cos\beta_{m,i} = (E_{m,i} \cdot A_{m,i} \cdot \varepsilon_{m,i}) \cdot \cos\alpha_{m,i} \cdot \cos\beta_{m,i} = k_{m,i]L} \cdot \varepsilon_{m,i}$$

$$\Delta Q_{v,46,m,i]V} = \Delta Q_{v,46,m,i} \cdot \text{sen}\beta_{m,i} = (E_{m,i} \cdot A_{m,i} \cdot \varepsilon_{m,i}) \cdot \text{sen}\beta_{m,i}$$

Siendo:

$\Delta Q_{v,46,m,i}$  : incremento de la carga en la línea de amarre  $i$  debido a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado (en unidades de fuerza).

$\Delta Q_{v,46,m,i]T}$  : componente trasversal del incremento de carga en la línea de amarre  $i$  debido a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado (en unidades de fuerza).

$\Delta Q_{v,46,m,i]L}$  : componente longitudinal del incremento de carga en la línea de amarre  $i$  debido a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado (en unidades de fuerza).

$\Delta Q_{v,46,m,i]V}$  : componente vertical del incremento de carga en la línea de amarre  $i$  debido a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado (en unidades de fuerza).

$\alpha_{m,i}$  : ángulo que forma la proyección horizontal de línea de amarre  $i$  con la línea paralela al eje longitudinal del buque que pasa por el punto de amarre, medido a partir del eje positivo de abscisas (sentido de actuación de la componentes longitudinal de la resultante de las fuerzas exteriores (Ver figura 4.6.4.33).

$\beta_{m,i}$  : ángulo vertical que forma la línea de amarre  $i$  con la horizontal (Ver figura 4.6.4.33).

$E_{m,i}$  : módulo de deformación de la línea de amarre  $i$ , dependiente de la tensión total en la línea de amarre. Se obtiene del diagrama tensión-deformación de la amarra (Ver figura 4.6.4.32). Simplificadamente puede adoptarse el correspondiente a la condición de tensionado inicial de la línea de amarre establecido por el Promotor o adoptado por el proyectista al definir la configuración y características del sistema de amarre o el correspondiente a la tensión adoptada en el caso de que se consideren dispositivos de tensión constante. En ausencia de otros criterios puede adoptarse como carga inicial usual en las líneas de amarre la correspondiente al 10% de su carga de rotura <sup>(114)</sup>.

$A_{m,i}$  : área de la línea de amarre  $i$ .

$\varepsilon_{m,i}$  : deformación unitaria de la línea de amarre  $i$  debida a la actuación de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado. Es decir:

$$\varepsilon_{m,i} = \frac{\Delta l_{m,i}}{l_{m,i}}$$

(114) El módulo de deformación de la línea de amarre  $i$  se define como:

$$E_{m,i} = \frac{Q_{v,46,m,i} / A_{m,i}}{\varepsilon_{m,i}} = \frac{Q_{v,46,m,i} / A_{m,i}}{\Delta l_{m,i} / l_{m,i}}$$

Siendo:

$Q_{v,46,m,i}$  : La carga de amarre o fuerza de tracción en la línea de amarre  $i$ .

$\varepsilon_{m,i}$  : Deformación unitaria de la línea de amarre  $i$  cuando actúa la carga de amarre.

$A_{m,i}$  : Área de la línea de amarre  $i$ .

$\Delta l_{m,i}$  : Incremento de longitud de la línea de amarre  $i$  cuando actúa la carga de amarre.

$l_{m,i}$  : Longitud inicial de la línea de amarre  $i$ .

- $k_{m,i]T}$  : coeficiente de rigidez de la amarra  $i$  para movimientos de deriva (transversales al buque). Se define como el cociente entre la componente transversal del incremento de carga en la línea de amarre y su deformación unitaria.
- $k_{m,i]L}$  : coeficiente de rigidez de la amarra  $i$  para movimientos de vaivén (longitudinales al buque). Se define como el cociente entre la componente longitudinal del incremento de carga en la línea de amarre y su deformación unitaria.

2. En las defensas se cumplen las siguientes relaciones (Ver figura 4.6.4.33):

$$\Delta Q_{v,46,f,i]T} = E_{f,i} \cdot \Delta \delta_{fc,i} \quad ; \quad \Delta Q_{v,46,f,i]L} = \mu_{f,i} \cdot \Delta Q_{v,46,f,i]T} = \mu_{f,i} \cdot E_{f,i} \cdot \Delta \delta_{fc,i}$$

Siendo:

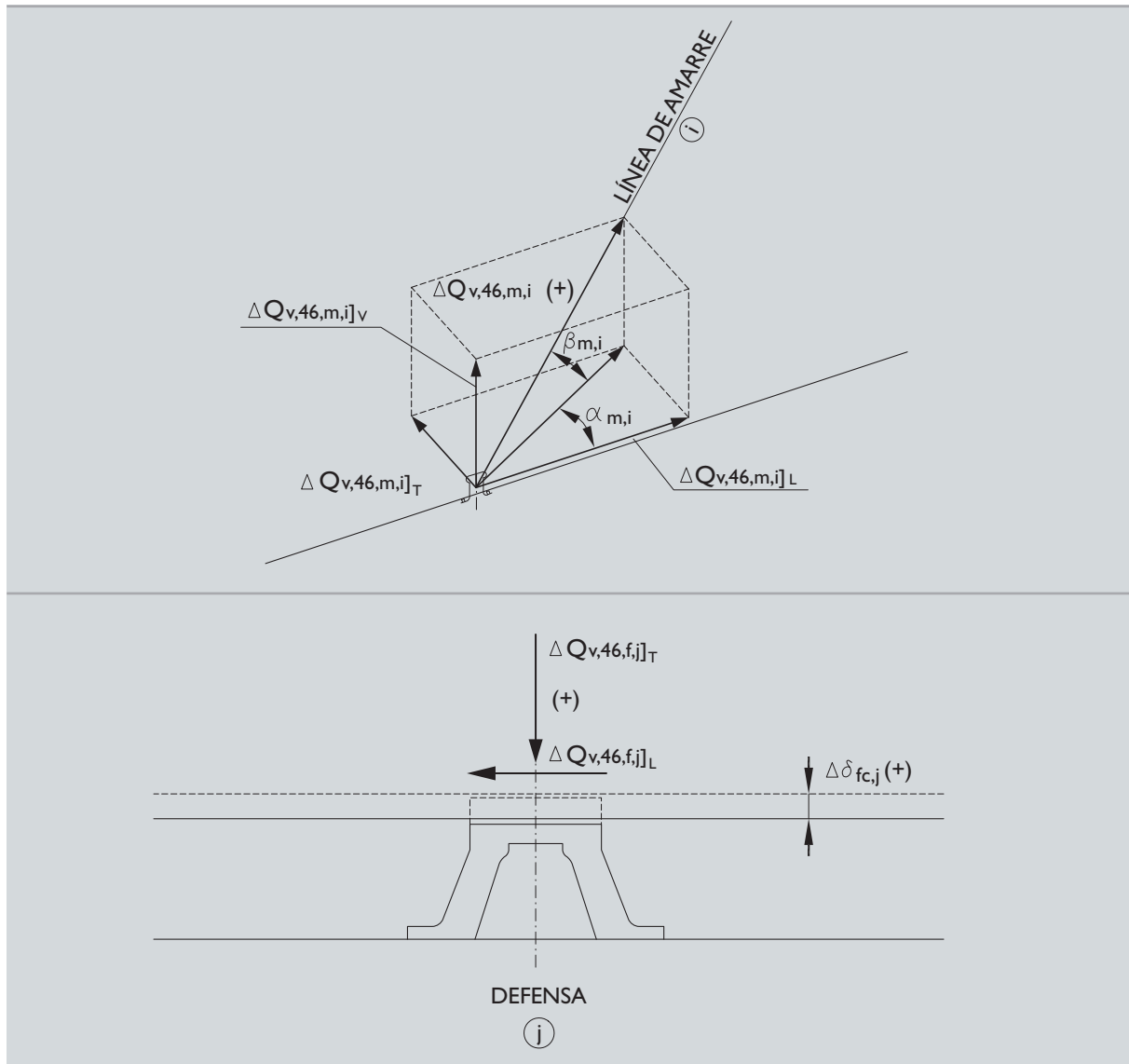
- $\Delta Q_{v,46,f,i]T}$  : incremento de la carga de compresión en la defensa  $i$  debido a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado (en unidades de fuerza).
- $\Delta Q_{v,46,f,i]L}$  : incremento de la fuerza de rozamiento en la defensa  $i$  debido a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado (en unidades de fuerza).
- $E_{f,i}$  : módulo de deformación de la defensa  $i$ , dependiente de la deformación inicial pre-existente en la misma. Se obtiene de las curvas de comportamiento del sistema de defensas y atraque (Ver figura 4.6.2.21). Simplificadamente puede adoptarse el correspondiente a la condición de compresión inicial de la defensa y estructura de atraque establecida por el Promotor o adoptada por el Proyectista al definir la configuración y características de sistema de amarre. En ausencia de otros criterios puede adoptarse el correspondiente a los tramos lineales de las curvas de comportamiento de la defensa y de la estructura de atraque.
- $\Delta \delta_{fc,i}$  : desplazamiento de la defensa  $i$  y, en su caso, de la estructura de atraque debido a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado.
- $\mu_{f,i}$  : coeficiente de fricción entre el caso del buque y la defensa  $i$  en la zona de contacto.

3. De acuerdo con lo establecido en los puntos 1 y 2, el equilibrio entre la resultante horizontal de la componente cuasi-estática de los esfuerzos generados en las líneas de amarre y defensas con la componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerza exteriores sobre el buque amarrado puede expresarse:

$$\begin{aligned} \sum_i \Delta Q_{v,46,m,i]T} + \sum_j \Delta Q_{v,46,f,j]T} &= \sum_i \left[ k_{m,i]T} \cdot \frac{\Delta l_{m,i}}{l_{m,i}} \right] + \sum_j [E_{f,j} \cdot \Delta \delta_{fc,j}] = \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T \\ \sum_i \Delta Q_{v,46,m,i]L} + \sum_j \Delta Q_{v,46,f,j]L} &= \sum_i \left[ k_{m,i]L} \cdot \frac{\Delta l_{m,i}}{l_{m,i}} \right] + \sum_j [\mu_{f,j} \cdot E_{f,j} \cdot \Delta \delta_{fc,j}] = \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L \\ \sum_i [\Delta Q_{v,46,m,i]T} \cdot a_{m,i}] + \sum_i [\Delta Q_{v,46,f,j]T} \cdot b_{f,j}] &= \sum_i \left[ k_{m,i]T} \cdot a_{m,i} \cdot \frac{\Delta l_{m,i}}{l_{m,i}} \right] + \sum_j [E_{f,j} \cdot b_{f,j} \cdot \Delta \delta_{fc,j}] = \\ &= \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M \end{aligned}$$

Siendo:

- $\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}$  : componente transversal de la resultante horizontal de la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado.
- $\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L}$  : componente longitudinal de la resultante horizontal de la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado.
- $\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$  : momento de eje vertical en el centro de gravedad del buque resultante de la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado.
- $a_{m,i}$  : distancia horizontal entre el cabrestante o chigre del buque correspondiente a la línea de amarre  $i$  y el plano vertical perpendicular al eje longitudinal del buque que pasa por su centro de gravedad. Se tomará como positiva si el momento restaurador generado por la componente trans-

**Figura 4.6.4.33. Descomposición de fuerzas en línea de amarre y defensas**

$b_{f,j}$

$i$

versal del incremento de carga en la línea de amarre  $i$  es contrario al momento resultante de los agentes exteriores sobre el buque amarrado.

: distancia horizontal entre el eje de la defensa  $j$  y el plano vertical perpendicular al eje longitudinal del buque que pasa por su centro de gravedad. Se tomará como positiva si el momento restaurador generado por el incremento de compresión en la defensa  $j$  es contrario al momento resultante de los agentes exteriores sobre el buque amarrado.

: líneas de amarre que se mantienen en tensión <sup>(115)</sup>, adoptándose el signo positivo para cargas y deformaciones en los casos en los que se produz-

(115) Los esfuerzos en las amarras o sobre las defensas no pueden tener valores globales negativos. Si dichos esfuerzos salen negativos hay que eliminar las líneas de amarre o defensas afectadas, aumentar la tensión inicial de líneas y/o la compresión inicial de defensas o utilizar configuraciones con menos líneas/defensas, lo que puede hacer necesario realizar un proceso de aproximaciones sucesivas. La tensión inicial de cada línea y compresión inicial de la defensa adoptadas por el Proyectista para cada buque, situación del carga del mismo y condición de trabajo deberán consignarse en las condiciones de explotación de la instalación.

j

can incrementos de tracción y alargamientos en las mismas (Ver figura 4.6.4.33).

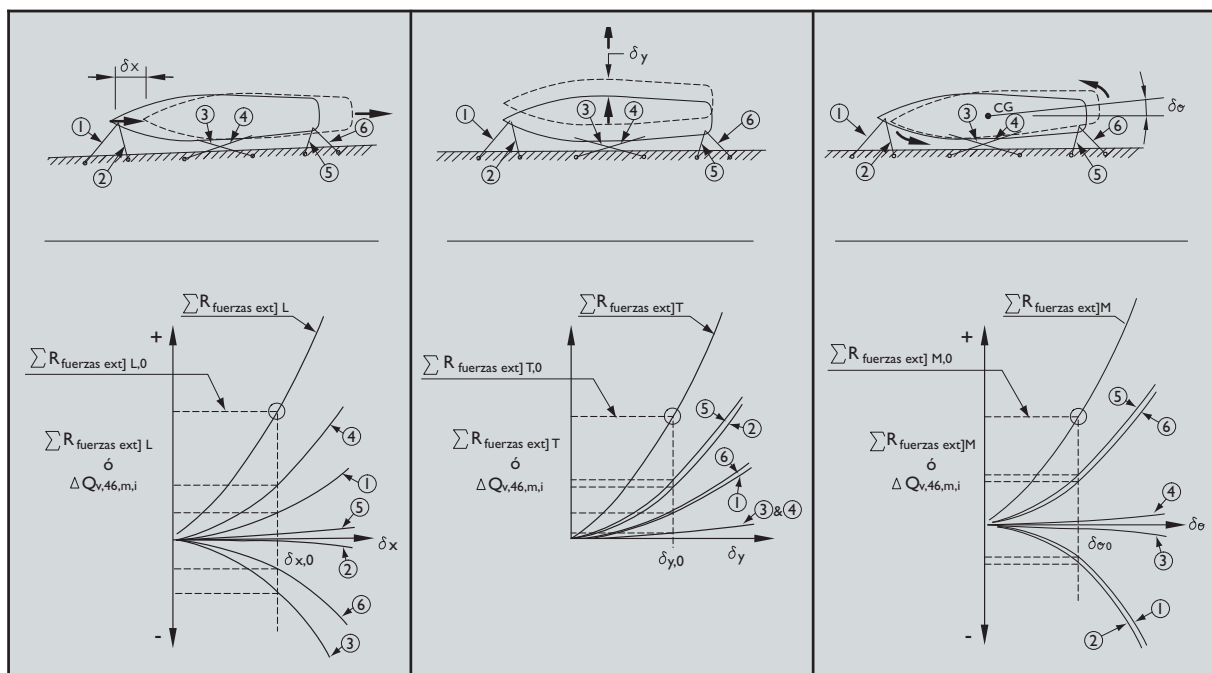
: defensas que se mantienen comprimidas (Ver nota 26), adoptándose el signo positivo para cargas y deformaciones en los casos en los que se produzcan compresiones y acortamientos en las mismas (Ver figura 4.6.4.33).

- Las deformaciones de las líneas de amarre y defensas se definirán como función de los movimientos transversal y longitudinal del centro de gravedad del buque, así como de la rotación del mismo respecto al eje vertical que pasa por dicho centro de gravedad (Ver figura 4.6.4.34):

$$\Delta l_{m,i} = f_i(\delta_x, \delta_y, \delta_\theta)$$

$$\Delta \delta_{fc,j} = f_j(\delta_x, \delta_y, \delta_\theta)$$

**Figura 4.6.4.34. Obtención de las fuerzas en los elementos de amarre y defensas por medio de la definición previa de las funciones de correlación entre cada movimiento horizontal del buque amarrado, la componente de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores que lo genera y las cargas de amarre a que da lugar**



A partir de las funciones de correlación entre cada movimiento horizontal del buque amarrado y la componente de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores que lo genera y los incrementos de cargas de amarre a que da lugar en cada línea de amarre, la carga de amarre total en una línea de amarre asociada a la resultante horizontal de las fuerzas exteriores puede obtenerse de acuerdo con la siguiente metodología:

- Para el valor actuante de cada una de las componentes de la resultante de las fuerzas exteriores

$$[\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]_{L,0}, \sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]_{T,0}, \sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]_{M,0}],$$

obtener el desplazamiento generado por cada una de ellas en la correspondiente función  $[\delta_{x,0}, \delta_{y,0}, \delta_{\theta,0}]$ .

- El incremento de carga total en la línea de amarre  $i$  será la suma de los incrementos de carga correspondientes a los desplazamientos asociados a cada una de las componentes de la resultante de las fuerzas exteriores, obtenidos en la correspondiente función. Es decir:

$$\Delta Q_{v,46,m,i} \text{ fuerzas exteriores},0 = \Delta Q_{v,46,m,i} \delta_{x,0} + \Delta Q_{v,46,m,i} \delta_{y,0} + \Delta Q_{v,46,m,i} \delta_{\theta,0}$$



5. Combinando la formulación establecida en los puntos 3 y 4 se obtiene un sistema general de tres ecuaciones con tres incógnitas (matriz de respuesta), cuya resolución permite obtener directamente los movimientos horizontales del buque y en segundo lugar los incrementos (o decrementos) de carga en líneas de amarre y defensas respecto a las tensiones o compresiones iniciales asociados a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado.

La aplicación de este procedimiento para averiguar las cargas críticas en líneas de amarre y defensas sin solucionar matemáticamente el sistema múltiple a que da lugar puede realizarse por superposición de las cargas de amarre debidas aisladamente a cada una de las componentes de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores. Para ello, para cada uno de los movimientos de deriva ( $\delta_y$ ), vavén ( $\delta_x$ ), y guiñada ( $\delta_\theta$ ), deberán obtenerse gráfica o analíticamente las funciones que correlacionan cada valor del movimiento considerado con el incremento de la carga de amarre que se produce en cada una de las líneas de amarre y defensas utilizando la ecuación correspondiente de las definidas en los puntos 1 y 2, a partir de la dependencia existente entre cada movimiento del buque y el alargamiento de las líneas de amarre o la comprensión de las defensas, así como la función que correlaciona dicho movimiento con el valor de la componente de la resultante de las fuerzas exteriores utilizando la ecuación correspondiente de las definidas en el punto 3. Las cargas de amarre debidas a cada componente de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque serán las correspondientes al valor del movimiento asociado con el valor de dicha componente (Ver figura 4.6.4.34). La carga de amarre total en cada línea de amarre y defensa se obtendrá como suma de la debida a cada una de las componentes.

Simplificaciones admisibles de este procedimiento para determinadas configuraciones y características del sistema de amarre se desarrollan en el subapartado  $a_2$  de este apartado. A su vez, los criterios para la determinación de la resultante de las fuerzas exteriores actuantes sobre el buque se incluyen en el subapartado  $a_2$  de este apartado.

Mediante este modelo, las cargas máximas y las cargas mínimas sobre cada uno de dichos elementos se definen simplifícadamente a partir de las componentes cuasi-estáticas obtenidas como resultado de este procedimiento, por medio de coeficientes de mayoración y minoración, respectivamente, que estiman la amplitud de las componentes de fluctuación respecto a los valores medios. El valor de dichos coeficientes se desarrolla en el subapartado  $a_3$  de este apartado.

#### **$a_1$ ) Componentes cuasi-estáticas de las resultantes horizontales de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado**

- $a_{11}$ ) Buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija con muelle, pantalán o conjunto de duques de alba (para buques con  $L \geq 25$  m)

A los efectos de la determinación de las componentes cuasi-estáticas de las resultantes horizontales de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija, puede considerarse simplifícadamente que la posición horizontal relativa del buque respecto a la dirección de las fuerzas actuantes se mantiene constante y coincidente con la posición teórica de reposo en que se encuentra el buque amarrado cuando no actúan los agentes climáticos y operacionales sobre el mismo.

Las componentes horizontales de las resultantes debidas a la actuación de los agentes climáticos y operacionales sobre el buque amarrado pueden estimarse de acuerdo con lo consignado en los siguientes epígrafes.

##### ■ *Resultante horizontal de la acción del viento sobre el buque amarrado*

La componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado lateralmente o de costado es una fuerza de arrastre horizontal ( $R_V$ ),

pudiendo considerarse formada por las siguientes componentes aplicadas en el centro de gravedad del buque <sup>(116)</sup>:

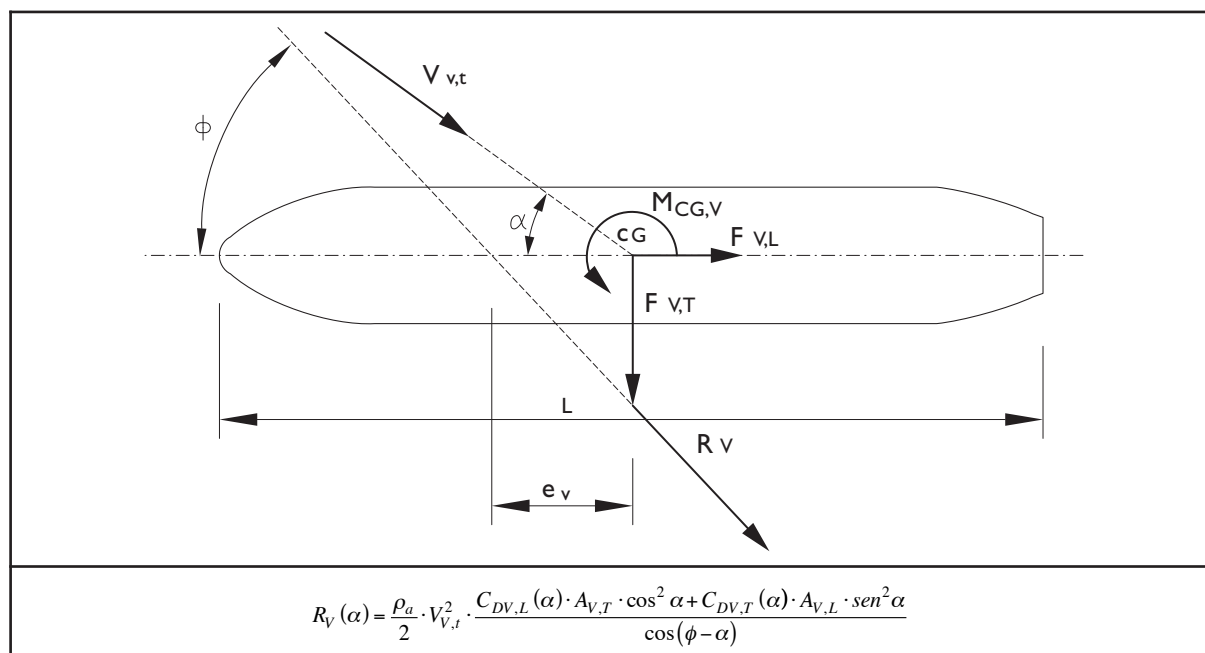
- Una componente en el sentido longitudinal del buque ( $F_{V,L}$ ).
- Una componente en el sentido transversal del buque ( $F_{V,T}$ ).
- Un momento de eje vertical ( $M_{CG,V}$ ), debido a la excentricidad de la fuerza resultante respecto al eje de gravedad del buque.

Esta fuerza de arrastre y sus componentes podrán determinarse mediante la formulación consignada en la tabla 4.6.4.59.

Cuando dos buques estén amarrados simultáneamente a ambos lados de una obra de atraque (p.e. pantalán), la fuerza de arrastre resultante de la actuación de viento transversal sobre el buque a resguardo podrá aproximarse mediante la aplicación del efecto sombra definido en el apartado 3.2.2.5 de la ROM 0.4-95, adoptando como factores de espaciado y de opacidad aerodinámico los señalados en el apartado 3.2.2.8.1 de dicha Recomendación.

Simplificadamente, si los dos buques son iguales o de características similares y están amarrados a ambos lados de una obra de atraque de ancho menor o igual a 30 metros, la fuerza de arrastre resultante de la actuación de viento transversal sobre el buque a resguardo podrá aproximarse del lado de la seguridad al 50% de la obtenida para el buque expuesto. Asimismo, podrá admitirse que la fuerza de arrastre resultante de la actuación de viento transversal sobre  $n$  buques de características similares abarloados es igual a  $(1+n/10) \cdot F_{V,T}$ .

**Tabla 4.6.4.59. Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija**



(116) A falta de mejor información, es admisible considerar simplificadamente a estos efectos que el centro de gravedad del buque coincide con su centro geométrico (½ eslora, ½ manga).

**Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija (continuación)**

$$F_{VL}(\alpha) = R_V(\alpha) \cdot \cos \phi$$

$$F_{VT}(\alpha) = R_V(\alpha) \cdot \sin \phi$$

$$M_{CG,V}(\phi) = F_{VT}(\alpha) \cdot e_V(\alpha) = F_{VT}(\alpha) \cdot K_{V,e}(\alpha) \cdot L$$

$$\phi(\phi) = \arctg [(A_{VL}/A_{VT}) \cdot \tan \alpha]$$

Siendo:

$R_V(\alpha)$  : Fuerza total de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección  $\alpha$ , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado. (kN)

$\phi(\alpha)$  : Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de la fuerza de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección  $\alpha$  sobre el buque amarrado.

$F_{VL}(\alpha)$  : Componente en sentido longitudinal del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección  $\alpha$  sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)

$F_{VT}(\alpha)$  : Componente en sentido transversal del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección  $\alpha$  sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)

$M_{CG,V}(\alpha)$  : Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque.  
(kN · m)

$\rho_a$  : Densidad del aire. En general, para el cálculo de la fuerza total de arrastre resultante de la acción del viento sobre el buque se recomienda tomar como valor nominal de este parámetro  $1,23 \cdot 10^{-3} \text{ t/m}^3$ , independientemente del emplazamiento y del estado meteorológico considerado. Ello es debido a que para muchos autores con carácter general es admisible considerar que los posibles aumentos que se producen en la densidad del aire cuando arrastra altos contenidos de agua o partículas sólidas producen una reducción de la velocidad del viento para mantener su energía cinética, por lo que ambos efectos podrían compensarse a los efectos de la determinación de la fuerza de arrastre. No obstante, en aquellos casos en los que el oleaje, la precipitación o el contenido de partículas sólidas compatible con el viento considerado sean significativos en el emplazamiento, la anterior compensación podría no ser suficientemente válida por lo que, de acuerdo con lo previsto en el apartado 4.5 de esta Recomendación, el proyectista deberá adoptar justificadamente otros valores para la densidad del aire que tengan en cuenta estos efectos, en razón de su experiencia, de ensayos realizados o de mediciones disponibles.

$A_{VL}$  : Área emergida de la proyección del buque sobre un plano vertical que contenga a su eje longitudinal, incluyendo todos sus elementos y las cargas en cubierta, en la situación de carga considerada. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, para buques a plena carga puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo, no tomando en consideración la posibilidad de carga en cubierta. Para buques portacontenedores la existencia de contenedores en cubierta puede considerarse que supone aumentos de superficie del orden del 25% para buques feeder y del 20% para buques mayores. ( $\text{m}^2$ ).  
Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente,  $A_{VL}$  podrá estimarse mediante la siguiente formulación:

$$A_{VL} = L_{pp} \cdot (G + h_L)$$

siendo:

$L_{pp}$  : eslora entre perpendiculares del buque. (m)

$G$  : francobordo del buque = puntal-calado. (m)

$h_L$  : altura media de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano vertical paralelo que contenga al eje longitudinal del buque. (m)

Los valores nominales de los parámetros  $L_{pp}$  y  $G$  para buques en lastre o cargados parcialmente podrán estimarse a partir de los valores de  $L_{pp}$  y  $B$  correspondientes a los mismos buques a plena carga por medio de la tabla 4.6.4.33, suponiendo que el coeficiente de bloque del buque varía con la situación de la carga de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.32. B). Los valores nominales usuales del parámetro  $h_L$ , sin considerar la existencia de cargas en cubierta, pueden tomarse de la tabla 4.1 de la ROM 3.1-99. Particularmente en el caso de buques portacontenedores, deberá tomarse en consideración adicionalmente la altura de estiba en cubierta correspondiente a cada situación de carga. Para aquellos buques que no estén listados en la tabla citada, el valor de  $h_L$  podrá aproximarse por medio de la anterior formulación a partir del valor de  $A_{VL}$  y de los parámetros  $L_{pp}$  y  $G$  del buque a plena carga obtenidos de la tabla 4.6.4.33.

$A_{VT}$  : Área emergida de la proyección del buque sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del mismo, incluyendo todos sus elementos y las cargas en cubierta, en la situación de carga considerada. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, para buques a plena carga puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo. La posibilidad de existencia o no carga en cubierta no afecta de forma significativa a este parámetro. ( $\text{m}^2$ ).  
Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente,  $A_{VT}$  podrá estimarse mediante la siguiente formulación:

$$A_{VT} = B \cdot (G + h_T)$$

siendo:

$B$  : manga del buque. (m)

$G$  : francobordo del buque = puntal-calado. (m)

$h_T$  : altura media de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del buque. (m)

**Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija (continuación)**

<p>Los valores nominales de los parámetros <math>B</math> y <math>G</math> para buques en lastre o cargados parcialmente podrán estimarse de acuerdo con lo señalado a estos efectos para <math>A_{VL}</math>. Los valores nominales usuales del parámetro <math>h_T</math> pueden tomarse de la tabla 4.1 de la ROM 3.1-99. Para aquellos buques que no estén listados en la tabla citada, el valor de <math>h_T</math> podrá aproximarse por medio de la anterior formulación a partir del valor de <math>A_{VT}</math> y de los parámetros <math>B</math> y <math>G</math> del buque a plena carga obtenidos de la tabla 4.6.4.33.</p>																																																																										
$C_{DV,L}(\alpha)$	<p>: Factor adimensional de arrastre para el viento actuando sobre el buque amarrado en la dirección de su eje longitudinal. Su valor es muy variable en función de las características y forma del buque y de su situación de carga. En general está en el rango 0.90-0.40 para buques a plena carga y 1.20-0.4 para buques en lastre. A falta de ensayos específicos en túnel de viento, en tanque o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, pueden adoptarse para el mismo del lado de la seguridad los siguientes valores:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Buques a plena carga<ul style="list-style-type: none"><li>– 0,90 para viento de proa (<math>\alpha = 0^\circ</math>)</li><li>– 0,70 para viento de popa (<math>\alpha = 180^\circ</math>)</li></ul></li><li>• Buques en lastre<ul style="list-style-type: none"><li>– 1,20 para viento de proa (<math>\alpha = 0^\circ</math>)</li><li>– 1,00 para viento de popa (<math>\alpha = 180^\circ</math>)</li></ul></li></ul>																																																																									
$C_{DV,T}(\alpha)$	<p>: Factor adimensional de arrastre para el viento actuando sobre el buque amarrado en dirección perpendicular a su eje longitudinal (<math>\alpha = 90^\circ</math> ó <math>270^\circ</math>). Su valor es muy variable en función de las características y forma del buque y de su situación de carga. En general está en el rango 1,0-0,80 para la mayor parte de los buques, independientemente de su situación de carga. No obstante, para buques pesqueros, remolcadores, embarcaciones auxiliares y embarcaciones deportivas y de recreo el rango de variación de este factor puede ampliarse hasta 1,50-0,60. A falta de ensayos específicos en túnel de viento, en tanque o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, pueden adoptarse para el mismo del lado de la seguridad los siguientes valores:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Todo tipo de buques excepto pesqueros, remolcadores, embarcaciones auxiliares y embarcaciones deportivas y de recreo: 1,00.</li><li>• Buques pesqueros, remolcadores, embarcaciones auxiliares y embarcaciones deportivas y de recreo: 1,50.</li></ul>																																																																									
$e_V(\alpha)$	<p>: Excentricidad de la fuerza total de arrastre resultante de la acción del viento de dirección <math>\alpha</math> sobre el buque amarrado, con respecto al centro de gravedad del buque y medida sobre el plano de crujía (plano vertical que contiene el eje longitudinal del buque). Se considerará excentricidad positiva la que se produzca hacia la proa del buque. (<math>m</math>)</p>																																																																									
$K_{V,e}(\alpha)$	<p>: Coeficiente adimensional de excentricidad. Su valor es muy variable en función de la situación de carga del buque, así como de la posición de la superestructura del mismo en relación a la dirección de actuación del viento. A falta de ensayos específicos en túnel de viento, en tanque o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, pueden adoptarse para el mismo del lado de la seguridad los siguientes valores:</p>																																																																									
<table><tr><th rowspan="3"><math>\alpha(en^\circ)</math></th><th colspan="6"><math>K_{V,e}</math></th></tr><tr><th colspan="2">BUQUES CON SUPERESTRUCTURA CENTRADA</th><th colspan="2">BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A PROA</th><th colspan="2">BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A POPA</th></tr><tr><th>En lastre</th><th>A plena carga</th><th>En lastre</th><th>A plena carga</th><th>En lastre</th><th>A plena carga</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>30</td><td>0,15</td><td>0,10</td><td>0,33</td><td>0,37</td><td>0,16</td><td>–0,10</td></tr><tr><td>60</td><td>0,05</td><td>0,03</td><td>0,18</td><td>0,27</td><td>0,05</td><td>–0,12</td></tr><tr><td>90</td><td>–0,02</td><td>0,02</td><td>–0,04</td><td>0,16</td><td>–0,04</td><td>–0,16</td></tr><tr><td>120</td><td>–0,10</td><td>0,10</td><td>–0,05</td><td>0,12</td><td>–0,18</td><td>–0,27</td></tr><tr><td>150</td><td>–0,20</td><td>0,10</td><td>–0,16</td><td>0,10</td><td>–0,33</td><td>–0,37</td></tr><tr><td>180</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>							$\alpha(en^\circ)$	$K_{V,e}$						BUQUES CON SUPERESTRUCTURA CENTRADA		BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A PROA		BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A POPA		En lastre	A plena carga	En lastre	A plena carga	En lastre	A plena carga	0	0	0	0	0	0	0	30	0,15	0,10	0,33	0,37	0,16	–0,10	60	0,05	0,03	0,18	0,27	0,05	–0,12	90	–0,02	0,02	–0,04	0,16	–0,04	–0,16	120	–0,10	0,10	–0,05	0,12	–0,18	–0,27	150	–0,20	0,10	–0,16	0,10	–0,33	–0,37	180	0	0	0	0	0	0
$\alpha(en^\circ)$	$K_{V,e}$																																																																									
	BUQUES CON SUPERESTRUCTURA CENTRADA		BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A PROA		BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A POPA																																																																					
	En lastre	A plena carga	En lastre	A plena carga	En lastre	A plena carga																																																																				
0	0	0	0	0	0	0																																																																				
30	0,15	0,10	0,33	0,37	0,16	–0,10																																																																				
60	0,05	0,03	0,18	0,27	0,05	–0,12																																																																				
90	–0,02	0,02	–0,04	0,16	–0,04	–0,16																																																																				
120	–0,10	0,10	–0,05	0,12	–0,18	–0,27																																																																				
150	–0,20	0,10	–0,16	0,10	–0,33	–0,37																																																																				
180	0	0	0	0	0	0																																																																				
$V_{V,t}$	<p>: Velocidad horizontal máxima probable correspondiente al estado de viento, considerando un periodo de medición <math>t</math>, en función de las características del buque. (<math>m/s^2</math>). Para <math>t</math> se adoptará el intervalo (ráfaga) más corto capaz de vencer la inercia del buque. Simplificadamente, de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.2.1, se adoptará:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Buques de eslora igual o mayor de 25 m: <math>t = 1 \text{ min.}</math></li><li>• Buques de eslora menor de 25 m: <math>t = 15 \text{ s.}</math></li></ul> <p>Como criterio general es admisible tomar para dicha velocidad la correspondiente a 10 m de altura. No obstante, si el centro de las presiones del viento sobre el buque está situado a una altura significativamente diferente a ésta se adoptará la velocidad correspondiente a la altura del centro de gravedad de la sección expuesta al viento. Esta velocidad puede obtenerse a partir de la correspondiente a 10 m de altura por medio del perfil de velocidades de viento definido en el apartado 2.1.2 de la ROM 0,4-94, así como en la tabla 4.6.2.1 de esta Recomendación.</p>																																																																									
$L$	<p>: Eslora total del buque. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo.</p>																																																																									

■ Resultante horizontal de la acción de la corriente sobre el buque amarrado

La componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción de las corrientes naturales sobre un buque amarrado lateralmente o de costado es una fuerza de arrastre horizontal ( $R_C$ ), pudiendo considerarse formada por las siguientes componentes aplicadas en el centro de gravedad del buque (ver nota 27):

- Una componente en sentido longitudinal del buque ( $F_{C,L}$ ), compuesta a su vez por las componentes en dicha dirección de las fuerzas debidas a la presión ( $F_{C\text{ presión},L}$ ) y a la fricción ( $F_{C\text{ fricción},L}$ ) de la corriente sobre el buque [ $F_{C,L} = F_{C\text{ presión},L} + F_{C\text{ fricción},L}$ ].
- Una componente en sentido transversal del buque ( $F_{C,T}$ ), compuesta a su vez por las componentes en dicha dirección de las fuerzas debidas a la presión ( $F_{C\text{ presión},T}$ ) y a la de fricción ( $F_{C\text{ fricción},T}$ ) de la corriente sobre el buque [ $F_{C,T} = F_{C\text{ presión},T} + F_{C\text{ fricción},T}$ ].
- Un momento de eje vertical ( $M_{CG,C}$ ), debido a la excentricidad de la resultante horizontal de las fuerzas de presión en relación con el centro de gravedad del buque.

La resultante horizontal de la acción de la corriente sobre el buque amarrado y sus componentes podrán determinarse mediante la formulación consignada en la tabla 4.6.4.60 para las fuerzas de presión y en la tabla 4.6.4.61 para las fuerzas de fricción. Como podrá observarse con los resultados obtenidos a partir de dichas tablas, cuando la corriente actúa en dirección del eje longitudinal del buque es predominante la resultante de las fuerzas de fricción respecto a las de presión. Por el contrario, cuando la dirección de la corriente es perpendicular al eje citado son predominantes las fuerzas de presión.

**Tabla 4.6.4.60. Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de presión debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija**

	$R_{C\text{ presión}}(\alpha) = \frac{\rho_w}{2} \cdot V_{c,t}^2 \cdot \frac{C_{DC,L}(\alpha) \cdot A_{C,T} \cdot \cos^2 \alpha + C_{DC,T}(\alpha) \cdot A_{C,L} \cdot \sin^2 \alpha}{\cos(\phi - \alpha)}$ $F_{C\text{ presión},L}(\alpha) = R_{C\text{ presión}} \cdot \cos \phi$ $F_{C\text{ presión},T}(\alpha) = R_{C\text{ presión}} \cdot \sin \phi$ $M_{CG,V}(\alpha) = F_{C\text{ presión},T}(\alpha) \cdot e_c(\alpha) = F_{C\text{ presión},T}(\alpha) \cdot K_{C,e}(\alpha) \cdot L$ $\phi(\alpha) = \arctg \left[ \frac{A_{C,L}}{A_{C,T}} \cdot \tan \alpha \right]$
--	---

**Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de presión debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija (continuación)**

Siendo:

- $R_{C\text{ presión}}(\alpha)$  : Fuerza total de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección  $\alpha$ , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado. (kN)
- $\phi(\alpha)$  : Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección  $\alpha$  sobre el buque amarrado.
- $F_{C\text{ presión},L}(\alpha)$  : Componente en sentido longitudinal del buque de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección  $\alpha$  sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
- $F_{C\text{ presión},T}(\alpha)$  : Componente en sentido transversal del buque de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección  $\alpha$  sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
- $M_{CG,C}(\alpha)$  : Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque. (kN·m)
- $\rho_w$  : Densidad del agua. Podrán tomarse como valores nominales de este parámetro los definidos en el apartado 4.5 de esta Recomendación en función del emplazamiento en que se encuentre ubicada la obra de atraque y amarre. (t/m<sup>3</sup>)
- $A_{C,L}$  : Área sumergida de la proyección del buque sobre un plano vertical que contenga a su eje longitudinal, en la situación de carga considerada. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, para buques a plena carga puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo. (m<sup>2</sup>)
- Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente,  $A_{C,L}$  podrá estimarse mediante la siguiente formulación:

$$A_{C,L} = L_{if} \cdot D$$

Siendo:

$L_{if}$  : eslora del buque a la altura de la línea de flotación. (m)

$D$  : calado del buque en la situación de carga considerada. (m)

El parámetro  $L_{if}$  podrá considerarse de lado de la seguridad igual a  $L_{pp}$ . Los valores nominales de este parámetro y de  $D$  para buques en lastre o cargados parcialmente podrán estimarse a partir de los valores de  $L_{pp}$  y  $B$  correspondientes a los mismos buques a plena carga por medio de la tabla 4.6.4.33, suponiendo que el coeficiente de bloque varía con la situación de la carga de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.32. B).

- $A_{C,T}$  : Área sumergida de la proyección del buque sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del mismo, en la situación de carga considerada. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, para buques a plena carga puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo. (m<sup>2</sup>)
- Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente,  $A_{C,T}$  podrá estimarse mediante la siguiente formulación:

$$A_{C,T} = B_{if} \cdot D$$

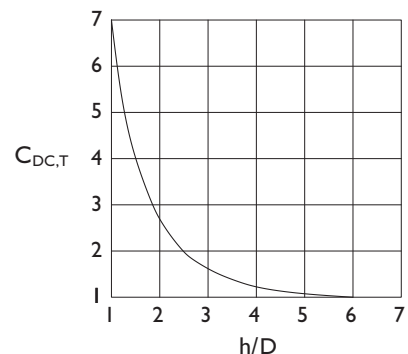
Siendo:

$B_{if}$  : manga del buque a la altura de la línea de flotación. (m)

$D$  : calado del buque en la situación de carga considerada. (m)

El parámetro  $B_{if}$  podrá considerarse del lado de la seguridad igual a  $B$ . Los valores nominales de  $B$  y  $D$  para buques en lastre o cargados parcialmente podrán estimarse de acuerdo con lo señalado a estos efectos para  $A_{C,L}$ .

- $C_{DC,T}(\alpha)$  : Factor adimensional de forma para la corriente actuando sobre el buque amarrado en la dirección perpendicular a su eje longitudinal ( $\alpha = 90^\circ$  ó  $270^\circ$ ). Este coeficiente es altamente dependiente del resguardo bajo la quilla, es decir, de la relación entre la profundidad de agua y el calado del buque ( $h/D$ ), incrementándose a medida que se reduce este último parámetro por efecto del mayor bloqueo del buque al flujo de corriente. En general, su valor en aguas profundas ( $h/D > 6$ ) está en el rango 0,5-1,5. A falta de una determinación más precisa por medio de ensayos en modelo físico o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad podrá adoptarse con carácter general el valor 1 para aguas profundas. La variación de este coeficiente en función de la relación  $h/D$  puede obtenerse por medio de los factores de corrección determinados a partir de la siguiente figura, para cualquier forma del buque y dirección de actuación de la corriente.



- $C_{DC,L}(\alpha)$  : Factor adimensional de forma para la corriente actuando sobre el buque amarrado en la dirección de su eje longitudinal ( $\alpha = 0^\circ$  ó  $180^\circ$ ). Depende fundamentalmente de la geometría de la proa del buque, no teniendo prácticamente incidencia si la corriente actúa por proa o popa. En general su valor está en el rango 0,2-0,6 para buques con proa angulosa. A falta de una determinación más precisa por medio de ensayos en modelo físico o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, se adoptará el valor 0,2 para buques con bulbo en proa (portacontenedores) y 0,6 para buques con proa convencional. Este coeficiente no es tan dependiente del resguardo bajo quilla como  $C_{DC,T}$ . Únicamente para relaciones  $h/D < 2$  el factor adimensional debe corregirse utilizando un coeficiente multiplicador igual a 1,5.

**Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de presión debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija (continuación)**

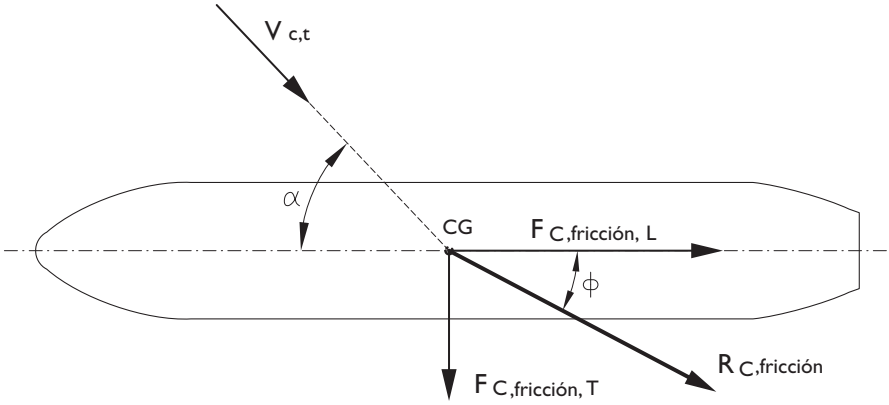
$e_C(\alpha)$	<p>Para buques que no tengan una proa angulosa, se adoptará como valor para el factor <math>C_{DC,L}</math> el mismo que el adoptado para el factor <math>C_{DC,T}</math>.</p> <p>Ambos factores (<math>C_{DC,L}</math> y <math>C_{DC,T}</math>) también pueden variar dependiendo de la dimensiones del área de flotación en la que se encuentra emplazada la obra de atraque y amarre. Así en canales de navegación, dársenas u otras áreas de dimensiones restringidas pueden producirse aumentos importantes de estos factores cuando el buque amarrado de lugar a reducciones significativas del área de circulación del flujo de corriente produciendo aumentos de la velocidad de la corriente.</p> <p>: Excentricidad de la resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección <math>\alpha</math> sobre el buque amarrado, con respecto al centro de gravedad del buque y medida sobre el plano de crujía (plano vertical que contiene el eje longitudinal del buque). Se considerará excentricidad positiva la que se produzca hacia la proa del buque. (<math>m</math>)</p>																
$K_{C,e}(\alpha)$	<p>: Coeficiente adimensional de excentricidad. Su valor es variable en función de la dirección de actuación de la corriente. A falta de ensayos específicos en modelo físico o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, pueden adoptarse para el mismo los siguientes valores:</p>																
$V_{C,t}$	<table border="1" data-bbox="692 757 1056 1075"> <thead> <tr> <th><math>\alpha</math> (en °)</th><th><math>K_{C,e}</math></th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>30</td><td>0,17</td></tr> <tr><td>60</td><td>0,09</td></tr> <tr><td>90</td><td>0</td></tr> <tr><td>120</td><td>-0,09</td></tr> <tr><td>150</td><td>-0,17</td></tr> <tr><td>180</td><td>0</td></tr> </tbody> </table> <p>: Velocidad horizontal máxima probable correspondiente en el estado meteorológico considerado, adoptando un periodo de medición <math>t</math> igual a 10 min, independientemente de las características del buque. (<math>m/s</math>). Como criterio general es admisible tomar para dicha velocidad el valor medio de la misma en la carena del buque. No obstante, en aquellos casos en que los resguardos bajo quilla sean reducidos, la incidencia de la variación más acusada de la velocidad de la corriente con la profundidad que se produce en las proximidades del fondo debe tomarse en consideración. En estos casos se adoptará para <math>V_C</math>:</p> $V_C = \sqrt{\frac{1}{D} \int_0^D [V_C(z)]^2 \cdot dz}$ <p>A falta de otros datos o de mediciones específicas, en el caso de corrientes de marea puede adoptarse como perfil de la velocidad de la corriente el definido en la tabla 4.6.2.I de esta Recomendación para nivel de las aguas coincidente con el nivel medio del mar. En otros casos puede adoptarse con carácter general como perfil de la velocidad de la corriente:</p> $V_C(z) = V_{C,superficie(z=h)} \left( \frac{z}{h} \right)^{\frac{1}{7}}$	$\alpha$ (en °)	$K_{C,e}$	0	0	30	0,17	60	0,09	90	0	120	-0,09	150	-0,17	180	0
$\alpha$ (en °)	$K_{C,e}$																
0	0																
30	0,17																
60	0,09																
90	0																
120	-0,09																
150	-0,17																
180	0																
$L$	<p>: Eslora total del buque. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo.</p>																

■ **Resultante horizontal de las fuerzas hidrodinámicas de repulsión sobre el buque amarrado causadas por fuertes corrientes longitudinales**

Un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija situada en las proximidades de la orilla en una zona en la que actúen fuertes corrientes longitudinales ( $\alpha = 0^\circ$  ó  $180^\circ$ ) puede estar sometido, adicionalmente a las fuerzas de presión y fricción debidas a la acción de la corriente analizadas en el apartado anterior, a fuerzas hidrodinámicas oscilatorias de baja frecuencia causadas por las alteraciones que se producen en la distribución de las velocidades del flujo de corriente alrededor del buque amarrado por:



**Tabla 4.6.4.61. Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de fricción debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija**

	
$F_{C,fricción,L}(\alpha) = \frac{\rho_w}{2} \cdot V_{C,t}^2 \cdot C_{fC} \cdot A_{fC,L} \cdot \cos^2(\alpha)$ $F_{C,fricción,T}(\alpha) = \frac{\rho_w}{2} \cdot V_{C,t}^2 \cdot C_{fC} \cdot A_{fC,T} \cdot \sin^2(\alpha)$	
$\phi(\alpha) = \arctg[(A_{fC,T}/A_{fC,L}) \cdot \tan^2(\alpha)]$	
Siendo:	
$R_{C,fricción}(\alpha)$	: Fuerza total de arrastre resultante de las fuerzas de fricción debidas a la acción de una corriente de dirección $\alpha$ , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado. (kN)
$\phi(\alpha)$	: Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de fricción debidas a la acción de una corriente de dirección $\alpha$ sobre el buque amarrado.
$F_{C,fricción,L}(\alpha)$	: Componente en sentido longitudinal del buque de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de fricción debidas a la acción de una corriente de dirección $\alpha$ sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
$F_{C,fricción,T}(\alpha)$	: Componente en sentido transversal del buque de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de fricción debidas a la acción de una corriente de dirección $\alpha$ sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
$A_{fC,L}$	: Área de la superficie mojada del buque en la dirección del plano de crujía, en la situación de carga considerada. (m <sup>2</sup> ). A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, este área podrá aproximarse mediante la formulación siguiente:
$A_{fC,L} = (B + 2D) \cdot L_{pp}$	
Siendo:	
$L_{pp}$ : eslora entre perpendiculares del buque. (m)	
$B$ : Manga del buque. (m)	
$D$ : Calado del buque en la situación de carga considerada. (m)	
Para buques plena carga pueden utilizarse como valores nominales de estos parámetros los valores incluidos en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo. Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente, $D$ podrá estimarse a partir de los valores de $L_{pp}$ y $B$ correspondientes a los mismos buques a plena carga por medio de la tabla 4.6.4.33, suponiendo que el coeficiente de bloque varía con la situación de carga de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.32. B).	
$A_{fC,T}$	: Área de la superficie mojada del buque en la dirección perpendicular al plano de crujía, en la situación de carga considerada. (m <sup>2</sup> ). A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, esta área podrá aproximarse mediante la formulación siguiente:
$A_{fC,T} = (L_{pp} + 2D) \cdot B$	
$C_{fC}$	: Los valores nominales de éstos parámetros podrán estimarse de acuerdo con lo señalado a estos efectos para $A_{fC,L}$ . Coeficiente adimensional de rozamiento para la corriente. Este coeficiente es función principalmente del número de Reynolds ( $Re$ ) y de la rugosidad superficial, pudiendo aproximarse por medio de la siguiente relación para buques en servicio (considerando cierta rugosidad superficial en su casco):
$C_{fC} = \frac{0,075}{(\log_{10} Re - 2)^2}$	
Los números de Reynolds para buques sometidos a la acción de corrientes de marea en áreas portuarias ( $Re = V_C \cdot L_{pp} \cdot \cos \alpha / \nu$ ) suelen corresponder a la zona de régimen turbulento ( $Re \geq 5 \cdot 10^5$ ), por lo que el valor de este coeficiente suele estar en el rango entre 0,001 y 0,01.	
$\rho_w$ y $V_{C,t}$	: tienen el mismo significado y los mismos criterios de determinación que los establecidos para dichos parámetros en la tabla 4.6.4.60.

- El aumento de velocidades en el lado del buque contrario al que está amarrado por la reducción en el área de circulación de dicho flujo por la presencia de la obra de atraque y del propio buque amarrado, si el puesto de atraque está situado en una zona muy canalizada y estrecha (ría, estuario, canal de navegación...).
- La disminución de las velocidades en el lado en el que está el buque amarrado por los obstáculos a la circulación del flujo que se presentan entre el buque y la obra de atraque.

Las fuerzas hidrodinámicas causadas por el primero de dichos supuestos podrán desprejiciarse a estos efectos cuando el área canalizada en la que está emplazada la instalación de atraque tenga una anchura mayor que la mínima recomendada para las vías de navegación en el Capítulo 8 de la ROM 3.1-99 para el buque considerado, incluyendo los resguardos para evitar la presencia de los fenómenos de succión y rechazo debido a las orillas.

En el caso de las fuerzas hidrodinámicas causadas por el segundo supuesto este efecto se manifiesta fundamentalmente por la generación de un gradiente hidráulico entre ambos costados del buque, así como por la formación de remolinos en los puntos de despegue de la estela generada por la interposición del buque al flujo incidente (Ver tabla 4.6.4.62).

La componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas hidrodinámicas debidas a este último efecto puede considerarse formada por una componente en el sentido transversal del buque, una componente en el sentido longitudinal y por un momento de eje vertical, aplicados en el centro de gravedad del buque. No obstante, las componentes cuasi-estáticas de la fuerza longitudinal y del momento no son significativas, pudiendo considerarse que la componente cuasi-estática de la fuerza resultante debida a este efecto es fundamentalmente una fuerza horizontal de repulsión aplicada en el centro de gravedad del buque y de sentido contrario a la obra de atraque ( $F_{C \text{ repulsión}, T}$ ).

La magnitud de esta fuerza de arrastre para una determinada velocidad de la corriente depende de muchos parámetros, especialmente de las dimensiones y situación de carga del buque, de la anchura de la zona canalizada en la que se encuentra la instalación de atraque, de la separación del buque amarrado de la línea de atraque, del resguardo bajo quilla y de la configuración y tipología estructural de la obra de atraque (cerrada o abierta y, en este último caso, de pilotes, de pilas, ...), no estando aún la formulación analítica para su cuantificación completamente validada y generalizada para diferentes valores de dichos parámetros. No obstante lo anterior, para corrientes longitudinales cuya velocidad  $V_C$ , definida según lo dispuesto en la tabla 4.6.4.60, sea menor o igual que 2 m/s, es admisible determinar esta fuerza mediante la formulación consignada en la tabla 4.6.4.62, basada en la hipótesis de que la fuerza horizontal de repulsión puede considerarse equivalente al empuje hidrostático diferencial que actúa sobre el costado del buque debido al gradiente hidráulico generado entre ambos costados del mismo por las corrientes longitudinales.

Cuando la velocidad de la corriente longitudinal  $V_C$ , sea mayor que 2 m/s el comportamiento dinámico del sistema buque/sistema de amarre/defensas debido a este efecto puede ser relevante al estar próximo el periodo de las fuerzas hidrodinámicas generadas del periodo de oscilación de los movimientos horizontales del buque amarrado, por lo que el tratamiento cuasi-estático descrito en este apartado, independientemente de la formulación considerada, no es aplicable, debiendo utilizarse modelos numéricos o experimentales.

#### ■ Resultante horizontal de la acción del oleaje sobre el buque amarrado

La resultante de la acción del oleaje sobre un buque amarrado puede obtenerse analíticamente de acuerdo con lo señalado en esta Recomendación para la obtención de la acción del oleaje sobre obras flotantes (Ver apartado 4.6.2.1.1. d<sub>3</sub>). De acuerdo con este aparta-

**Tabla 4.6.4.62. Resultante horizontal de las fuerzas hidrodinámicas de repulsión sobre el buque amarrado lateralmente o de costado, causadas por fuertes corrientes longitudinales**

	$F_{Crepulsión, T} = \rho_w \cdot g \cdot h_r \cdot A_{C,L} = \rho_w \cdot g \cdot \left[ C_{rc} \cdot \frac{V_{C,t}^2}{2g} \right] \cdot A_{C,L} = \frac{\rho_w}{2} C_{rc} \cdot V_{C,t}^2 \cdot A_{C,L}$ <p>Siendo:</p> <p><math>F_{C repulsión, T}</math> : Fuerza horizontal hidrodinámica de repulsión en sentido transversal del buque, debida al gradiente hidráulico generado entre ambos costados de un buque amarrado cuando actúan sobre el mismo fuertes corrientes longitudinales. Dicha fuerza se encuentra aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)</p> <p><math>h_r</math> : Desnivel de agua equivalente al gradiente hidráulico generado entre ambos costados del buque amarrado por las corrientes longitudinales. (m)</p> $h_r = C_{rc} \cdot \frac{V_{C,t}^2}{2g}$ <p><math>A_{C,L}</math> : Área sumergida de la proyección del buque sobre un plano vertical que contenga a su eje longitudinal, en la situación de carga considerada. (m<sup>2</sup>). Los criterios para su determinación están incluidos en la tabla 4.6.4.60.</p> <p><math>C_{rc}</math> : Coeficiente adimensional de repulsión. Este coeficiente es altamente variable en función de la velocidad de la corriente, de las dimensiones y situación de carga del buque, de la anchura de la zona canalizada en la que se encuentra la instalación de atraque, de la separación del buque amarrado de la línea de atraque, del resguardo bajo quilla y de la configuración y tipología estructural de la obra de atraque, habiéndose observado en áreas restringidas con relaciones <math>h/D &gt; 1,3</math> valores en el rango 0,1-0,7. A falta de una determinación más precisa de este coeficiente para las condiciones locales por medio de ensayos en modelo físico o de datos más detallados correspondiente al buque considerado en condiciones similares a las locales, procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, podrá adoptarse con carácter general el valor 0,7 siempre que <math>h/D</math> sea mayor o igual que 1,3 y que la anchura de la zona canalizada sea mayor que la mínima recomendada para las vías de navegación en el Capítulo 8 de la ROM 3.1-99 para el buque considerado, incluyendo los resguardos para evitar la presencia de los fenómenos de rechazo y succión de las orillas.</p> <p><math>\rho_w</math> y <math>V_{C,t}</math> : tienen el mismo significado y los mismos criterios de determinación que los establecidos para dichos parámetros en la tabla 4.6.4.60.</p>
--	--

do, la resultante de la acción del oleaje está formada por una fuerza de naturaleza lineal y carácter oscilatorio, de periodo similar al del oleaje actuante, y por una fuerza básicamente horizontal de naturaleza no lineal, con periodo en el rango entre 20 y 100 s y dirección la de propagación del oleaje, denominada fuerza de deriva. La importancia de una u otra componente es función principalmente de la rigidez del sistema de amarre.

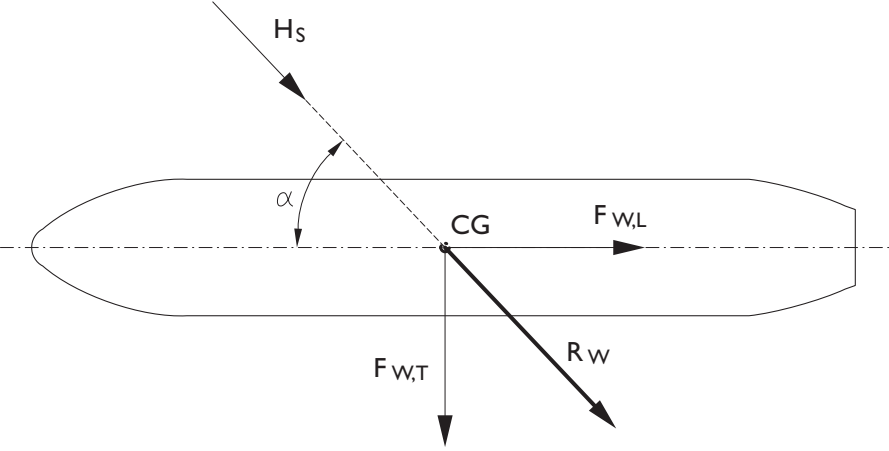
En general, en los modelos analíticos tradicionales se considera simplificada que la fuerza más significativa debida al oleaje para el cálculo de las cargas de amarre es la fuerza de deriva al considerarse como la principal causante de los movimientos horizontales del buque, principalmente sobre los cuales son eficaces los sistemas de amarre. En cualquier caso estos modelos no permiten aproximar con fiabilidad las cargas verticales que se producen sobre las defensas al ser función de los movimientos verticales del buque, dependientes principalmente de la componente lineal de la acción del oleaje sobre el buque, y de la capacidad de la defensa de reducción de dichos movimientos por rozamiento. Por dicha razones, así como por ser los periodos de la fuerza de deriva del mismo orden de magnitud que los de los movimientos horizontales del buque amarrado, conjuntamente con su reducida capacidad de amortiguamiento en el rango de las bajas frecuencias, lo que puede dar lugar a importantes efectos dinámicos en este rango de frecuencias, la fiabilidad de considerar esta formulación para la determinación de las cargas de amarre es muy limitada, por lo que no es recomendable tratar la respuesta del sistema de amarre frente a la actuación de oleajes significativos en términos de análisis estático; es decir cuando las condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque sean Tipos II y III.

La componente cuasi-estática de la fuerza de deriva debida a la acción del oleaje sobre un buque amarrado lateralmente o de costado ( $R_W$ ) puede aproximarse por las siguientes componentes aplicadas en el centro de gravedad del buque (Ver nota 27):

- Una componente en sentido longitudinal del buque ( $F_{W,L}$ ).
- Un componente en sentido transversal del buque ( $F_{W,T}$ ).

Esta fuerza de arrastre y sus componentes podrán obtenerse mediante la formulación consignada en la tabla 4.6.4.63.

**Tabla 4.6.4.63. Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del oleaje sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija**


$R_W(\alpha) = \gamma_w \cdot C_{f,W} \cdot C_{d,W} \cdot H_s^2 \cdot L_{proj \alpha}$

**Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del oleaje sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija (continuación)**

$$F_{W,L}(\alpha) = R_W(\alpha) \cdot \cos \alpha$$

$$F_{W,T}(\alpha) = R_W(\alpha) \cdot \sin \alpha$$

Siendo:

$R_W(\alpha)$  : Fuerza total de arrastre resultante de la acción de un oleaje incidente con dirección de propagación  $\alpha$ , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado. (kN)

$F_{W,L}(\alpha)$  : Componente en sentido longitudinal del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un oleaje incidente con dirección  $\alpha$  sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)

$F_{W,T}(\alpha)$  : Componente en sentido transversal del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un oleaje incidente con dirección de propagación  $\alpha$ , aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)

$\gamma_w$  : Peso específico del agua. Podrán tomarse como valores nominales de este parámetro los definidos en el apartado 4.5 de esta Recomendación en función del emplazamiento en que se encuentre ubicada la obra de atraque y amarre. (kN/m<sup>3</sup>).

$H_s$  : Altura de ola significativa correspondiente al oleaje incidente en el emplazamiento. (m)

$L_{proy\alpha}$  : Longitud de la proyección del buque en la dirección del oleaje incidente. (m). A falta de valores conocidos podrá aproximarse mediante la expresión siguiente:

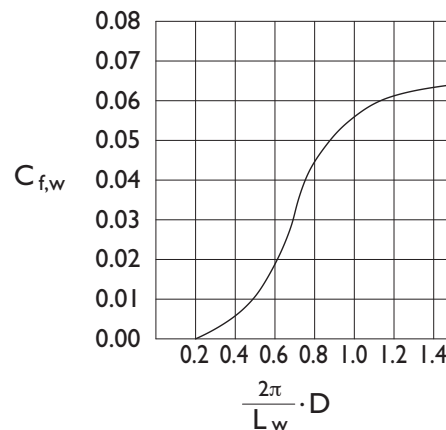
$$L_{proy\alpha} = L_{pp} \cdot \sin \alpha + B \cdot \cos \alpha$$

Siendo:

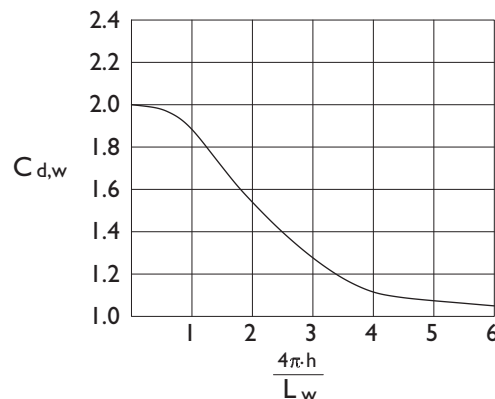
$L_{pp}$  : Eslora entre perpendiculares del buque. (m)

$B$  : Manga del buque. (m)

$C_{f,w}$  : Coeficiente de flotación (adimensional). Este coeficiente depende de la longitud de onda ( $L_w$ ) a la profundidad del emplazamiento asociada al periodo medio (Ver tabla 4.6.2.9) y del calado del buque ( $D$ ). Su valor es creciente con el calado del buque y decreciente con la longitud de onda en el rango entre 0,0 y 0,07. La variación detallada de este coeficiente en función de los factores de los que depende puede obtenerse a partir de la siguiente figura:



$C_{d,w}$  : Coeficiente de profundidad relativa (adimensional). Este coeficiente es función de la profundidad relativa en el emplazamiento ( $h/L_w$ ). Su valor es decreciente con el aumento de la profundidad relativa, en el rango entre 1,0-2,0. La variación detallada de dicho coeficiente en función de la profundidad relativa puede obtenerse a partir de la figura siguiente:



■ *Resultante de la acción de ondas largas sobre el buque amarrado*

Los modelos analíticos tradicionales no han desarrollado ninguna formulación fiable específica de carácter general que permita aproximar una componente cuasi-estacionaria resultante de la acción de ondas largas de cualquier tipo (onda larga asociada al oleaje, grupos de olas, maremotos,...), así como de la presencia de ondas estacionarias en una dársena causadas por fenómenos de resonancia, sobre el buque amarrado, debido a la gran importancia de los efectos dinámicos causados por la presencia de este tipo de oscilaciones al ser el periodo de las mismas en muchos casos del mismo orden de magnitud que los periodos de oscilación de los movimientos horizontales del buque amarrado y a las bajas posibilidades de amortiguamiento del buque en este rango de frecuencias. No obstante lo anterior, en aquellos casos en que quede garantizado que no se producen fenómenos de resonancia tanto en el conjunto buque/sistema de amarre y defensas/estructura de atraque como en la dársena, la resultante de la acción de ondas largas sobre el buque amarrado podrá aproximarse mediante la formulación incluida en esta Recomendación para la acción de la corriente, considerando las componentes horizontales del campo de velocidades asociados a la onda larga (Ver apartado 4.7.2 de la ROM 1.0-09).

Cuando puedan presentarse en el emplazamiento respuestas resonantes bien en la dársena bien en conjunto buque/sistema de amarre y defensas/estructura de atraque por ser sus periodos naturales de oscilación similares a los de la onda larga actuante, la respuesta del sistema de amarre no es susceptible de ser tratada en términos de análisis estático, debiendo irse a estudios en modelos numéricos o experimentales que permitan obtener los movimientos del buque y las fuerzas en líneas de amarre y defensas. En estos casos, dados los movimientos de gran amplitud, tanto verticales como horizontales, que pueden presentarse en el buque amarrado debido a estas acciones, así como la magnitud de las cargas de amarre generadas en líneas de amarre y defensas, la actuación ante este tipo de fenómeno no está tanto en la cuantificación de los esfuerzos generados sino especialmente en su previsión y prevención mediante una adecuada configuración del sistema de amarre, con objeto de llevar los periodos naturales de oscilación de los movimientos más críticos lo más lejos posible de los periodos correspondientes a las acciones de este tipo actuantes (Ver apartado 4.6.4.4.7.1.1. a. Características de las líneas de amarre). Asimismo deberá comprobarse que las dársenas y demás áreas en las que se localicen obras de amarre no puedan entrar en resonancia, debiéndose evitar en el caso de que se produzca mediante los adecuados dispositivos y configuraciones (Ver apartado 3.9.5 de la ROM 1.0-09). Cuando puedan presentarse este tipo de acciones y se considere la permanencia del buque en el atraque en estas condiciones climáticas (condiciones Tipo III), el reglamento de explotación de la instalación deberán prever las configuraciones y características del sistema de amarre asociadas a estos estados climáticos.

■ *Resultante de la acción de niveles de agua asociados a mareas y regímenes fluviales sobre el buque amarrado*

En sí mismo, los niveles de agua asociados a mareas y regímenes fluviales no ejercen fuerzas directas sobre el buque, aunque tienen una incidencia directa en la valoración de otras fuerzas, como las debidas a las corrientes, al oleaje o a los efectos hidrodinámicos inducidos por el paso de buques en tránsito, al ser función del resguardo bajo quilla o de la profundidad. Asimismo, las variaciones de los niveles de aguas exteriores pueden dar lugar a modificaciones de los agentes actuantes en el emplazamiento. Por tanto, para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas deberá tomarse en consideración la incidencia de los valores representativos de los niveles alto y bajo de las aguas exteriores en cada condición de trabajo para la definición de los valores representativos compatibles tanto de los agentes actuantes en un estado meteorológico y operativo como de las fuerzas generadas cuando sean dependientes del nivel de las aguas exteriores. Para formulaciones probabilistas deberá considerarse la función de distribución de los niveles bajo y alto de las aguas exteriores en la condición de trabajo considerada.

Adicionalmente, modificaciones de la altura relativa entre buque y puntos de amarre puede inducir variaciones en las cargas de amarre en magnitud, orientación y punto de aplicación al modificarse la orientación y la efectividad de las líneas de amarre, así como la posición del buque con respecto a las defensas, y, por tanto, la respuesta del sistema de amarre frente al resto de cargas actuantes sobre el buque amarrado. Asimismo, la variación de los niveles de agua puede dar lugar a fuerzas de fricción en las defensas al desplazarse el buque verticalmente. Los modelos analíticos tradicionales para la determinación de las cargas de amarre no toman en consideración estas fuerzas de fricción ya que se fundamentan en el equilibrio estático de las componentes horizontales de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque y las fuerzas restauradoras y, en general, los coeficientes de fricción vertical entre el casco del buque y la defensa son pequeños. Lo anterior se establece sin perjuicio de su evaluación por otros métodos y su toma en consideración cuando pueda ser relevante para el dimensionamiento del elemento considerado.

Los efectos de las variaciones del nivel de las aguas exteriores en las cargas de amarre deberán ser estudiados para cada situación particular considerando, salvo que el Promotor de la instalación señale lo contrario, que las líneas de amarre se mantienen tensionadas en toda situación de permanencia del buque en el atraque, así como que el buque se encuentra firme contra el sistema de defensas en estas situaciones. A estos efectos, los criterios y condiciones de explotación de la instalación deberán imponer, bien mediante dispositivos de tensión cuando estén disponibles o bien manualmente, la corrección del sistema de amarre en ese sentido para irse adecuando al nivel existente de las aguas exteriores en cada momento, con el objeto de que no se puedan producir alteraciones en las características y configuración del mismo.

■ *Resultante de la acción del hielo sobre el buque amarrado*

Los efectos del hielo sobre el buque amarrado serán raramente considerados en la valoración de las cargas de amarre, excepto en zonas geográficas con fuertes heladas. Sin perjuicio de otros efectos debidos al hielo que pueden tener incidencia sobre las cargas de amarre (presiones por congelamiento de la masa de agua entre buque y estructura de atraque, impacto de bloques de hielo a la deriva, ...) la acción del hielo sobre el buque amarrado es especialmente significativa cuando se presenten en el emplazamiento corrientes significativas o viento en la dirección longitudinal del buque amarrado. En esta situación puede producirse un importante incremento de las fuerzas longitudinales sobre el buque debido al impacto de bloques de hielo así como a la fricción del hielo atrapado entre buque y obra de atraque causada por el efecto de la acumulación en esa zona del flujo de hielo por la acción de la corriente o el viento.

Los modelos analíticos tradicionales no han desarrollado ninguna formulación fiable que permita aproximar la resultante de la acción del hielo sobre un buque amarrado. Por tanto, cuando se considere relevante en el emplazamiento la acción del hielo, las cargas de amarre debidas a este agente deberán obtenerse mediante modelos numéricos o experimentales.

En las aguas litorales españolas no se considerará la acción del hielo para la determinación de las cargas de amarre.

■ *Resultante horizontal de los efectos hidrodinámicos inducidos por el paso de un buque navegando en las proximidades del buque amarrado*

El paso de un buque navegando en las proximidades de otro buque amarrado genera fuerzas horizontales de succión y rechazo entre el buque en tránsito y el amarrado causadas principalmente por las asimetrías del flujo de agua que se producen alrededor del casco del buque en tránsito y, por tanto, por la alteración de las presiones sobre el casco de ambos buques, así como otras fuerzas sobre el buque amarrado causadas por las corrien-



tes de retorno y las ondas generadas por el buque en tránsito (Ver apartado 4.6.4.4.2. Efectos hidrodinámicos inducidos por los buques en tránsito y apartados 4.7 y 4.8.6. de la ROM 3.1-99). No obstante, es el primero de estos efectos el que suele ser más relevante para las cargas de amarre, salvo cuando se presenten velocidades de tránsito excesivas y la obra de atraque y amarre esté situada muy próxima a la vía de navegación de los buques en tránsito, en cuyo caso las ondas generadas por el buque en tránsito pueden tener una incidencia significativa en la generación de movimientos en el buque amarrado, tanto horizontales como verticales, así como en las cargas de amarre. Estas fuerzas pueden llegar a ser muy importantes y en algunos casos críticas para la configuración adecuada y el dimensionamiento del sistema de amarre, pudiendo generar incrementos muy significativos de las cargas de amarre y de los movimientos de los buques, por lo que es conveniente evitar que las mismas sean relevantes en el emplazamiento, limitando las velocidades de los buques en tránsito en las condiciones de explotación de la instalación y maximizando la separación entre las vías de navegación y los buques amarrados, así como en caso extremo dotando de abrigo al puesto de atraque.

La resultante horizontal sobre el buque amarrado producida por las ondas generadas por buques en tránsito puede aproximarse por medio de la aplicación de la formulación desarrollada para la resultante horizontal de la acción del oleaje sobre el buque amarrado, asimilando este tipo de oscilaciones a un oleaje de viento de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.4.4.2.1.

La resultante horizontal sobre el buque amarrado debida a los efectos hidrodinámicos de succión y rechazo inducidos por el paso de buques en tránsito es una fuerza variable de carácter oscilatorio que puede tener componentes con valores energéticos significativos en el rango de las bajas frecuencias, cuyas variables básicas (amplitud y periodo) y de estado dependen de un gran número de factores, entre los que se encuentran el tamaño relativo de los dos buques, la trayectoria del buque en tránsito respecto al buque amarrado, la separación entre buques, la situación de carga de ambos, la velocidad relativa del buque en tránsito respecto a la corriente, los resguardos bajo quilla en relación con la profundidad del agua y las dimensiones y condiciones de contorno de la dársena o del área de flotación en el emplazamiento, así como las características del sistema de amarre. En general, dicha fuerza es decreciente al aumentar la eslora relativa del buque amarrado respecto a la del buque en tránsito ( $L_{\text{buque amarrado}} / L_{\text{buque en tránsito}}$ ) y la distancia de separación entre buques y creciente al aumentar la velocidad relativa del buque en tránsito respecto a la corriente. La incidencia de los resguardos de quilla relativos disminuye con la profundidad del agua, anulándose prácticamente cuando ésta es mayor que la distancia entre los buques medida desde el centro de gravedad del buque.

Dicha resultante horizontal puede considerarse formada por las siguientes componentes aplicadas en el centro de gravedad del buque (Ver nota 15):

- Una componente en el sentido longitudinal del buque ( $F_{P,L}$ ).
- Una componente en el sentido transversal del buque ( $F_{P,T}$ )
- Un momento de eje vertical ( $M_{CG,P}$ )

Sobre la base de análisis teóricos y de registros experimentales y en prototipo efectuados, puede considerarse que la evolución de dichas componentes en relación con la posición del buque en tránsito respecto al buque amarrado tiene la forma que se recoge en la tabla 4.6.4.64. Como puede observarse en dicha figura, el valor máximo de la componente transversal suele producirse cuando ambos buques se encuentran aproximadamente parejos, siendo los valores de la componente longitudinal y del momento nulos en esa posición. Asimismo, el valor máximo de la componente longitudinal y del momento se produce cuando la proa del buque en tránsito alcanza las proximidades del centro de gravedad del buque. En esa posición la componente transversal es aproximadamente nula.

Se han desarrollado formulaciones que permiten establecer aproximaciones de los valores de las variables de estado que definen cada una de estas componentes (en particular los valores de pico) en función de los distintos factores de los que depende. Una de estas formulaciones se incluye en la tabla 4.6.4.64 para trayectorias del buque en tránsito paralelas al eje longitudinal del buque amarrado y dársenas no confinadas. No obstante la fiabilidad de las mismas no está totalmente consolidada al no poder precisarse su rango de validez. Por dicha razón y además dado que los periodos de las mismas pueden ser del mismo orden de magnitud que los de los movimientos horizontales del buque amarrado y dar lugar a la amplificación dinámica de los mismos, cuando sean relevantes en el emplazamiento los efectos hidrodinámicos inducidos por los buques en tránsito no es recomendable la aplicación de modelos analíticos que se basen en la simplificación estática de la naturaleza dinámica del sistema mediante la utilización de los valores de pico de dichas componentes sino únicamente para una primera aproximación al problema, siendo preferible la utilización de métodos numéricos o experimentales para la determinación de las cargas de amarre y los movimientos de los buques.

Como regla general, en aquéllos casos en que las ondas generadas por los buques en tránsito no sean relevantes en el puesto de amarre, es decir, para condiciones Tipo I de permanencia del buque en el atraque en lo que se refiere a ondas generadas por buques en tránsito (Ver tabla 4.6.4.49) no será necesario tomar en consideración las fuerzas producidas por el paso de buques en tránsito sobre el buque amarrado cuando la distancia de separación entre el eje de la vía de navegación del buque en tránsito y el buque amarrado sea superior a la dimensión equivalente recomendada para las vías de navegación en el Capítulo 8 de la ROM 3.1-99 para los buques considerados, incluyendo los resguardos para evitar la presencia de los fenómenos de succión y rechazo de los márgenes. En aquellos casos en los que por la separación entre la vía de navegación para los buques en tránsito y el buque amarrado no sean relevantes los efectos de succión y rechazo pero si lo sean las ondas generadas por el buque en tránsito, para la determinación de la resultante de dicho agente sobre el buque amarrado será de aplicación lo señalado en esta Recomendación a estos efectos para la acción del oleaje.

- *Resultante debido a las corrientes generadas por los equipos de propulsión, así como fuerzas inducidas sobre el buque por los remolcadores que formen parte de la configuración del sistema de amarre*

Cuando la configuración y características del sistema de amarre en una condición de trabajo (p.e. en condiciones de trabajo excepcionales) incluya el auxilio de remolcadores trabajando sobre cabo corto, apoyado o abarloado, las corrientes generadas por los equipos de propulsión de los remolcadores, así como, el tiro o los empujes generados sobre el buque, pueden dar lugar a fuerzas adicionales sobre el buque amarrado (Ver apartado 4.6.4.4.5).

Difícilmente puede generalizarse una formulación analítica que valore estos efectos, dependientes de las características geométricas del buque, de las condiciones de trabajo en la que se considera la actuación de remolcadores, del tipo y características de los mismos y del número y posición que ocupan respecto al buque amarrado. A partir de conclusiones obtenidas de resultados experimentales de muy difícil generalización, es admisible considerar que estas fuerzas pueden valorarse simplifícadamente incrementando hasta un 20% la resultante horizontal total de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado.

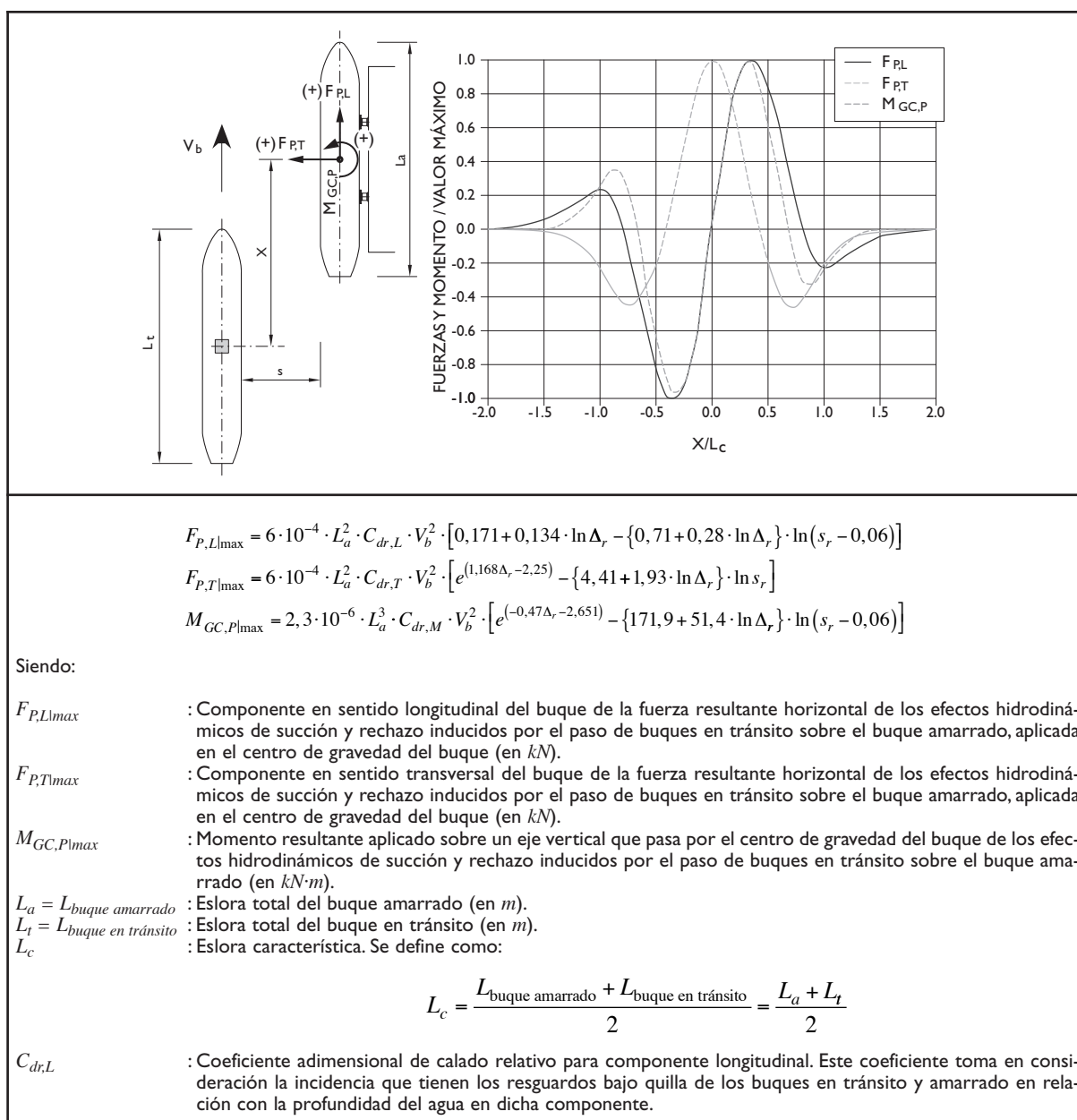
- *Resultantes debido a cambios en los parámetros geométricos del buque, a asientos y a escoras causados por las modificaciones en las condiciones de carga del buque*

Los procesos de carga y descarga pueden dar lugar a fuertes variaciones en el calado de los buques, así como a asientos y escoras apreciables, produciendo modificaciones en los parámetros geométricos del buque que dan lugar a cambios en las fuerzas resultantes de

la actuación de los distintos agentes sobre el buque amarrado para un mismo estado meteorológico u operativo.

Asimismo, estas modificaciones geométricas dan lugar a cambios de la altura relativa entre buque y puntos de amarre, así como a alteraciones en la simetría del sistema de amarre, que pueden inducir variaciones en las cargas de amarre en magnitud, orientación y punto de aplicación al modificarse la orientación y la efectividad de las líneas de amarre, así como la posición del buque con respecto a las defensas, y aumentar la posibilidad de que se produzcan acoplamientos entre los distintos movimientos del buque, alterándose, por tanto, la respuesta del sistema de amarre frente a las cargas actuantes.

**Tabla 4.6.4.64. Evolución tipo de las componentes de la resultante horizontal sobre el buque amarrado debida a los efectos hidrodinámicos de succión y rechazo inducidos por el paso de buques en tránsito y formulación para estimar el valor de pico de las componentes de dicha resultante <sup>1)</sup>**



***Evolución tipo de las componentes de la resultante horizontal sobre el buque amarrado debida a los efectos hidrodinámicos de succión y rechazo inducidos por el paso de buques en tránsito y formulación para estimar el valor de pico de las componentes de dicha resultante<sup>1)</sup> (continuación)***

Se define como:

$$C_{dr,L} = e^{\left(0,0955 - 0,6367 \cdot \frac{\text{resguardo bajo quilla en la situación de carga considerada}}{\text{profundidad de agua}}\right)} = e^{\left(0,0955 - 0,6367 \cdot \frac{h_a - D}{h_a}\right)},$$

adoptándose los parámetros correspondientes al buque que tenga mayor calado en la situación de carga considerada, comparándolo entre el buque amarrado y el buque en tránsito.

$C_{dr,T}$  : Coeficiente adimensional de profundidad relativa para componente transversal. Este coeficiente toma en consideración la incidencia que tienen los resguardos bajo quilla de los buques en tránsito y amarrado en relación con la profundidad del agua en dicha componente.

Se define como:

$$C_{dr,T} = e^{\left(0,5157 - 3,438 \cdot \frac{\text{resguardo bajo quilla en la situación de carga considerada}}{\text{profundidad de agua}}\right)} = e^{\left(0,5157 - 3,438 \cdot \frac{h_a - D}{h_a}\right)},$$

adoptándose los parámetros correspondientes al buque que tenga mayor calado en la situación de carga considerada, comparándolo entre el buque amarrado y el buque en tránsito.

$C_{dr,M}$  : Coeficiente adimensional de profundidad relativa para el momento. Este coeficiente toma en consideración la incidencia que tienen los resguardos bajo quilla de los buques en tránsito y amarrado en relación con la profundidad del agua en dicho momento.

Se define como:

$$C_{dr,M} = e^{\left(0,343 - 2,288 \cdot \frac{\text{resguardo bajo quilla en la situación de carga considerada}}{\text{profundidad de agua}}\right)} = e^{\left(0,343 - 2,288 \cdot \frac{h_a - D}{h_a}\right)},$$

adoptándose los parámetros correspondientes al buque que tenga mayor calado en la situación de carga considerada, comparándolo entre el buque amarrado y el buque en tránsito.

$V_b$  : Velocidad relativa del buque en tránsito respecto del agua (en m/s)

Se define como:

$V_b = V_{b,absoluta} - V_{C,r}$  siendo  $V_{b,absoluta}$  la velocidad absoluta del buque en tránsito y  $V_{C,r}$  la velocidad de la corriente según la definición de la tabla 4.6.4.60.

A falta de datos más precisos suministrados por el Promotor, los valores usuales de  $V_b$  se recogen en el apartado 4.6.4.4.2.1 de esta Recomendación, así como en el apartado 7.2.3.4 de la ROM 3.1-99).

$\Delta_r$  : Desplazamiento relativo del buque en tránsito respecto al buque amarrado.

Se define como:

$$\Delta_r = \frac{\Delta_{\text{buque en tránsito}}}{\Delta_{\text{buque amarrado}}}$$

$s_r$  : Separación entre buques relativa.

Se define como:

$$s_r = \frac{s}{L_c},$$

siendo  $s$ , la separación horizontal entre el buque en tránsito y el amarrado, y  $L_c$ , la eslora característica definida en esta tabla.

A falta de datos más precisos correspondientes a los buques considerados, para buques a plena carga puede utilizarse como valor nominal de los parámetros geométricos del buque incluidos en la formulación los valores incluidos en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo. Asimismo, los valores nominales de los parámetros geométricos de los buques en situación de lastre o cargados parcialmente podrán obtenerse de la misma tabla, suponiendo que el coeficiente de bloque varía con la situación de carga de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.32. B).

**Notas**

1) Formulación de Flory, (2001).

Estos efectos se superponen, en su caso, a los producidos por las variaciones de los niveles de agua asociados a mareas y regímenes fluviales, considerándose para la determinación de las cargas de amarre mediante modelos analíticos idénticas hipótesis de cálculo y tratamiento que las definidas en esta Recomendación para dichas variaciones del nivel de las aguas (Ver epígrafe “Resultante de la acción de niveles de agua asociados a mareas y regímenes fluviales sobre el buque amarrado” de este apartado).

Los efectos debidos a los procesos de carga y descarga de los buques deberán ser estudiados para cada caso particular en función de los criterios de explotación establecidos por el Promotor de la instalación. En ausencia de criterios específicos se considerará que los buques pueden operar en todas las situaciones entre plena carga y lastre, salvo en el caso de astilleros o instalaciones específicas para gran reparación de buques en los que los buques operarán en situaciones entre lastre y rosca. También se considerará la posibilidad de que se produzcan sobrecargados adicionales en las situaciones de plena carga en proa o en popa por asientos causados por la distribución de carga con valores nominales entre  $0,0025 L_{pp}$  y  $0,0015 L_{pp}$  en función del tipo y tamaño de buque (Ver apartado 7.2.3. de la ROM 3.1-99).

*a*<sub>12</sub>) B amarrado por proa a un único punto de amarre (amarradero de orientación libre)

La aplicación de modelos analíticos basados en la aproximación estática de la naturaleza dinámica del sistema no se considera de gran fiabilidad para la determinación de las cargas de amarre en este tipo de amarraderos de orientación libre, debido a que pueden presentarse en el sistema buque/estructura de amarre efectos dinámicos muy significativos al ser los periodos de oscilación de dicho sistema del mismo orden de magnitud que los de los agentes actuantes de corto periodo (ver tabla 4.6.4.55), independientemente que la estructura de amarre sea fija o flotante, así como a la fluctuación direccional de los propios agentes actuantes sobre el buque y a la inercia del mismo, que hacen que la posición del buque esté cambiando permanentemente según un movimiento oscilatorio alrededor del punto de amarre. Por dichas razones, en estos casos la determinación de las cargas de amarre mediante modelos analíticos se considerará únicamente una primera aproximación, siendo necesario su validación mediante la utilización de modelos numéricos o experimentales.

Uno de los métodos analíticos más simples se basa en la determinación de las componentes cuasi-estáticas de las fuerzas resultantes horizontales producidas por la actuación de los agentes climáticos y operacionales sobre un buque amarrado por proa a un amarradero fijo de orientación libre considerando también de aplicación a este caso lo establecido en el epígrafe *a*<sub>11</sub> de este apartado para buques amarrados lateralmente o de costado a una obra de atraque fija, pero tomando en consideración que en este tipo de amarraderos la posición horizontal relativa del buque respecto a la dirección de las fuerzas actuantes no es independiente de la magnitud y dirección de las mismas sino que depende de su resultante global, al orientarse el eje longitudinal del buque en función de la dirección de dicha resultante.

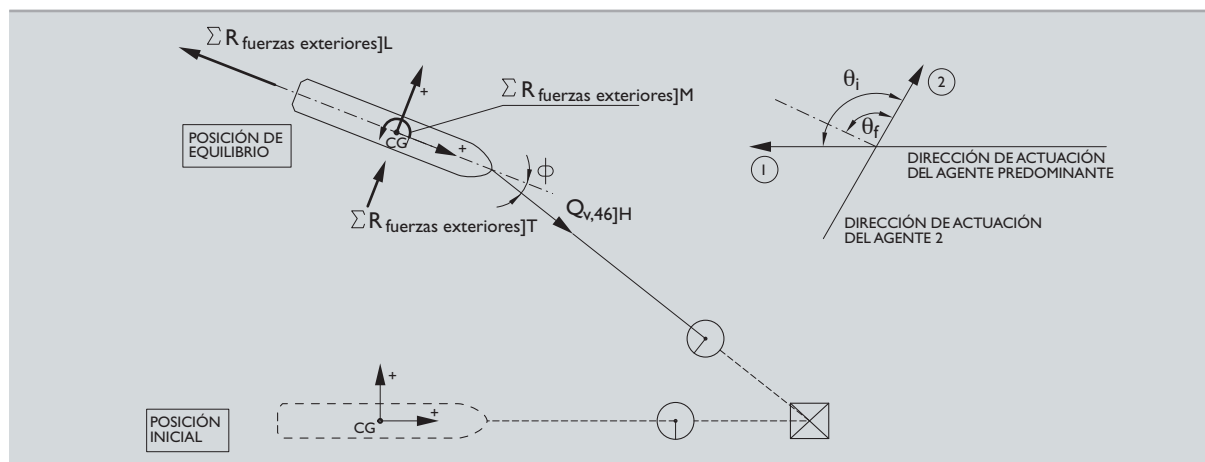
Por dicha razón, para cada conjunto de agentes actuantes sobre el buque amarrado, la determinación de las resultantes debidas a los mismos exige definir previamente la posición relativa teórica que adoptará el buque respecto a las direcciones de actuación de dichos agentes. Para ello podrá seguirse un procedimiento iterativo, a partir de una posición inicial supuesta, hasta encontrar el punto de equilibrio en que la resultante horizontal de las fuerzas actuantes sobre el buque y de la carga de amarre restauradora se equilibran (Ver figura 4.6.4.35). Es decir:

- $\Sigma R_{\text{fuerzas exteriores}}]L = Q_{v,46}]LH$
- $\Sigma R_{\text{fuerzas exteriores}}]T = Q_{v,46}]TH$
- $\Sigma R_{\text{fuerzas exteriores}}]M = Q_{v,46}]TH \cdot [L_{pp}/2]$

Esto puede realizarse mediante el procedimiento siguiente:

- I. Adoptar para el buque una posición inicial. Como posición inicial puede adoptarse aquella en la que el eje longitudinal del buque coincide con la dirección de actuación del agente que se considere predominante a los efectos del valor de la fuerza resultante sobre el buque ( $\theta_i$ ). En el caso de que no se pueda diferenciar cuál de los agentes actuante es claramente el predominante, se adoptará una posición intermedia, considerando la dirección

**Figura 4.6.4.35. Esquema de cálculo para la determinación de las fuerzas resultantes sobre un buque amarrado a un amarradero fijo de orientación libre**



del eje longitudinal del buque entre las direcciones de actuación de los agentes actuantes que se consideren significativos a estos efectos.

- Determinar las fuerzas resultantes de la actuación de los agentes sobre el buque amarrado situado en la posición inicial adoptada.
- Calcular la resultante de momentos, según la siguientes formulación:

$$\sum M_{CG} = \sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]M - \sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]T \cdot \frac{L_{pp}}{2}$$

- Si  $\sum M_{CG} \neq 0$  volver al paso 2, modificando la posición del buque en el sentido que favorezca la aproximación a  $\sum M_{CG} = 0$ . Para facilitar este proceso puede obtenerse el valor de  $\sum M_{CG}$  situando el eje longitudinal del buque en la dirección de cada una de los agentes predominantes, con el objeto de determinar en cuál de dichas posiciones el momento resultante es positivo y en cuál es negativo. De acuerdo con estos datos, la modificación de la posición del eje longitudinal del buque se realizará hacia la dirección que permita compensar el exceso del momento resultante. El proceso se reiterará hasta que se cumpla  $\sum M_{CG} = 0$ .
- Cuando se cumpla que  $\sum M_{CG} = 0$  se considerará que se ha alcanzado el punto de equilibrio ( $\theta_f$ ), adoptándose un valor para la componente horizontal de la fuerza en la línea de amarra de:

$$Q_{v,46]H} = \sqrt{(\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]L)^2 + (\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]T)^2}$$

Siendo  $\sum R_{L] \text{agentes actuantes}}$  y  $\sum R_{T] \text{agentes actuantes}}$  las componentes longitudinal y transversal, respectivamente, de la resultante sobre el buque amarrado de los agentes exteriores y operacionales actuantes, considerando que el buque se encuentra en punto de equilibrio. Asimismo, el ángulo entre el eje longitudinal del buque y la línea de amarre ( $\Phi$ ) será:

$$\phi = \arctg \left[ \frac{R_{\text{fuerzas exteriores}}]T}{R_{\text{fuerzas exteriores}}]L} \right]$$

- a<sub>12</sub>) Buque amarrado a un campo de boyas (amarradero con orientación fija)

■ Sistema de amarre a dos boyas, una en proa y otra en popa

Por razones de eficiencia y seguridad, la utilización de este sistema de amarre está limitada a los casos en los que los agentes climáticos relevantes a los efectos de la resultante sobre el buque amarrado actúan en sentido sensiblemente longitudinal al mismo ( $\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]L \gg \sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]T$ ) como, por ejemplo, en el caso de ríos, estuarios y

zonas confinadas con marea significativa en las que la acción fundamental es una corriente unidireccional (Ver ROM 3.1-99). En caso contrario, sería necesario un desplazamiento transversal del buque significativo para equilibrar acciones transversales exteriores significativas con las cargas que se generan en las amarras, dando lugar a un estado muy inestable de la posición buque con oscilaciones muy importantes con relación a la posición teórica de equilibrio, no abordable mediante aproximaciones estáticas analíticas.

Para este sistema de amarre, las condiciones de operación correspondientes al estado límite de permanencia en el atraque estarán asociadas al cumplimiento de dicha condición.

Si se cumplen las condiciones señaladas puede considerarse simplificada a los efectos de determinación de la componente cuasi-estática de las resultantes horizontales de las fuerzas exteriores sobre el buque que la posición relativa del buque respecto a la dirección de las fuerzas actuantes se mantiene constante, reposicionándose únicamente a través de un desplazamiento transversal del buque.

Con estas hipótesis, para la determinación de las componentes cuasi-estáticas de las fuerzas resultantes horizontales producidas por la actuación de los agentes climáticos y operacionales sobre el buque amarrado mediante el citado sistema de amarre también será de aplicación lo establecido en el epígrafe a<sub>11</sub> de este apartado.

En el caso de que la disposición y características del sistema de amarre sean simétricos respecto al centro geométrico del buque y no se produzca el destensamiento de las líneas de amarre, los incrementos de las fuerzas en las amarras y el desplazamiento transversal del buque pueden obtenerse mediante la resolución del siguiente sistema de ecuaciones de equilibrio estático (Ver figura 4.6.4.36), que simplifica el procedimiento general establecido en este apartado:

$$\begin{aligned} \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L} + \Delta Q_{v,46]H,1} \cdot \cos \phi_1 - \Delta Q_{v,46]H,2} \cdot \cos \phi_2 &= 0 \\ \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} - \Delta Q_{v,46]H,1} \cdot \sin \phi_1 - \Delta Q_{v,46]H,2} \cdot \sin \phi_2 &= 0 \\ \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M} - \Delta Q_{v,46]H,1} \cdot \cos \phi_1 \cdot \frac{L_{pp}}{2} + \Delta Q_{v,46]H,2} \cdot \cos \phi_2 \cdot \frac{L_{pp}}{2} &= 0 \\ \delta_T = (l_0 + \Delta l_1) \cdot \sin \phi_1 &= (l_0 + \Delta l_2) \cdot \sin \phi_2 \end{aligned}$$

Siendo  $l_0$  la proyección horizontal de la longitud de las amarras más el desplazamiento de la boya desde el punto de fondeo en la posición inicial,  $\Delta l_1$  y  $\Delta l_2$  las proyecciones horizontales del alargamiento (o acortamiento) de la mismas para el incremento de la fuerza de tracción respectivamente en proa y popa (Ver nota 24) y  $\Phi_1$  y  $\Phi_2$  los ángulos formados entre el eje longitudinal del buque y, respectivamente, la proyección horizontal de la línea de amarre de proa y popa, en la posición de equilibrio del buque para los agentes actuantes.

Por la hipótesis de simetría del sistema de amarre, la cuarta ecuación puede expresarse:

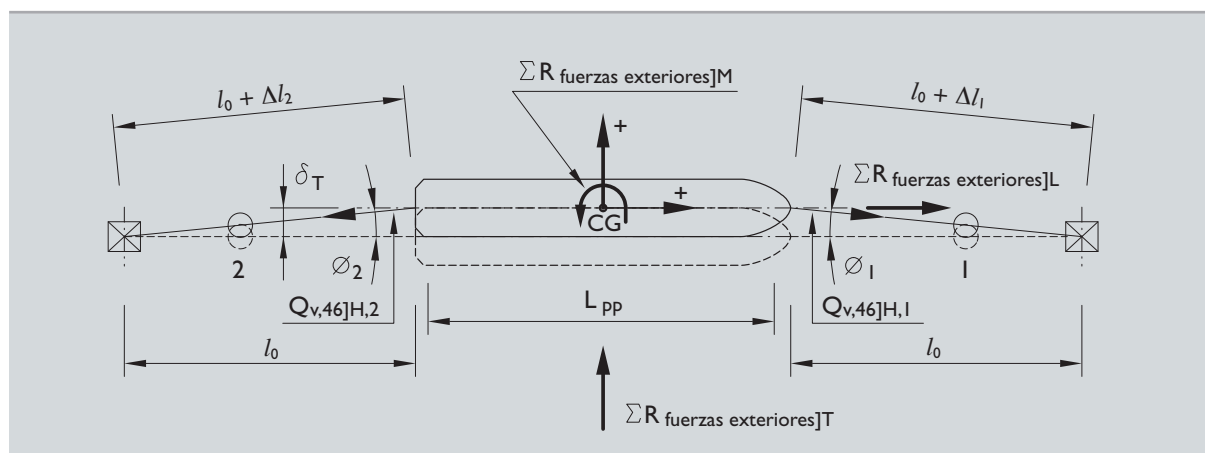
$$\frac{(1 + \Delta Q_{v,46]H,1})}{(1 + \Delta Q_{v,46]H,2})} = \frac{\sin \phi_2}{\sin \phi_1}$$

- *Sistemas múltiples constituidos por amarres en proa y popa, con o sin amarres laterales adicionales*

La aproximación estática al estudio de sistemas de amarre múltiples mediante modelos analíticos puede considerarse suficientemente fiable en el rango de aplicación de los mis-



**Figura 4.6.4.36. Esquema de cálculo para la determinación de las cargas de amarre en el caso de buque amarrado a un sistema de amarre de orientación fija constituido por dos boyas, una en proa y otra en popa**



mos para buques con  $L \geq 25\text{m}$  (Ver apartados 4.6.4.7.1.1.d. de esta Recomendación y 8.8 de la ROM 3.1-99) cuando estén sometidos a la actuación de agentes de corto periodo, con la excepción del oleaje, debido a que usualmente los periodos de oscilación correspondientes a los movimientos horizontales de dichos buques amarrados con estos sistemas están suficientemente alejados de los de los agentes señalados, y a que para cualquier combinación de dichos agentes siempre existe una triangulación efectiva de amarres que permite mantener estabilizado al buque en su posición.

Sin embargo, la aplicación a amarraderos de orientación fija de modelos analíticos basados en la aproximación estática de la naturaleza dinámica del sistema no se considera de gran fiabilidad cuando los buques están sometidos a la acción del oleaje o de otras oscilaciones del mar de periodo intermedio, debido a que pueden presentarse en el sistema buque/estructura de amarre efectos dinámicos muy significativos al ser los periodos de oscilación del dicho sistema, tanto en lo que corresponde a movimientos verticales como horizontales, del mismo orden de magnitud que los de dichos agentes (ver tabla 4.6.4.56). Por dicha razón, en estos casos, la determinación de las cargas de amarre mediante modelos analíticos se considerará únicamente una primera aproximación, siendo necesaria su validación mediante la utilización de modelos numéricos o experimentales.

Para la determinación de la componente cuasi-estática de las resultantes horizontales de las fuerzas exteriores sobre un buque amarrado a un campo de boyas (amarradero de orientación fija), constituido por amarres en proa y popa con o sin amarres adicionales en las proximidades de proa y popa, será de aplicación lo establecido a estos efectos en el epígrafe  $a_{11}$  de este apartado, al ser también admisible considerar simplíficamente a estos efectos que la posición relativa horizontal del buque respecto a la dirección de actuación de los agentes climáticos y operativos se mantiene constante y coincidente con la posición teórica de reposo en la que se encuentra el buque amarrado cuando no actúan dichos agentes.

Los amarraderos de orientación fija constituidos por sistemas múltiples presentan simetría respecto al eje longitudinal del buque, debido a lo cual el procedimiento general establecido para la distribución de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado entre los distintos elementos que componen el sistema de amarre puede simplificarse al tomar en consideración dicha simetría.

En el caso particular de un sistema de amarre constituido por dos puntos de amarre por proa y dos por popa (Ver figura 4.6.4.37), siempre que no se produzca el destensamiento de ninguna de las líneas de amarre, los incrementos (o decrementos) de las cargas en las amarras respecto a la pretensión inicial pueden obtenerse mediante la formulación de las ecuaciones de equilibrio entre la resultante horizontal de la componente cuasi-estática de las cargas en las líneas de amarre y la componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores que actúan sobre el buque:

$$\begin{aligned}\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L} &= (\Delta Q_{v,46}]_{H,2} + \Delta Q_{v,46}]_{H,3}) \cdot \cos \alpha_2 - (\Delta Q_{v,46}]_{H,1} + \Delta Q_{v,46}]_{H,4}) \cdot \cos \alpha_1 \\ \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} &= (\Delta Q_{v,46}]_{H,1} - \Delta Q_{v,46}]_{H,4}) \cdot \text{sen} \alpha_1 + (\Delta Q_{v,46}]_{H,2} - \Delta Q_{v,46}]_{H,3}) \cdot \text{sen} \alpha_2 \\ \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M} &= \frac{L_{pp}}{2} [(\Delta Q_{v,46}]_{H,1} - \Delta Q_{v,46}]_{H,4}) \cdot \text{sen} \alpha_1 - (\Delta Q_{v,46}]_{H,2} - \Delta Q_{v,46}]_{H,3}) \cdot \text{sen} \alpha_2]\end{aligned}$$

así como por la condición de simetría del sistema de amarre respecto al eje longitudinal del buque:

$$(\Delta Q_{v,46}]_{H,2} + \Delta Q_{v,46}]_{H,3}) \cdot \cos \alpha_2 = -(\Delta Q_{v,46}]_{H,1} + \Delta Q_{v,46}]_{H,4}) \cdot \cos \alpha_1$$

Si adicionalmente el ángulo entre las líneas de amarre de proa y popa adoptado fuera idéntico ( $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ ), las componentes horizontales de las cargas en las líneas de amarre que se obtienen por resolución del anterior sistema de ecuaciones, son:

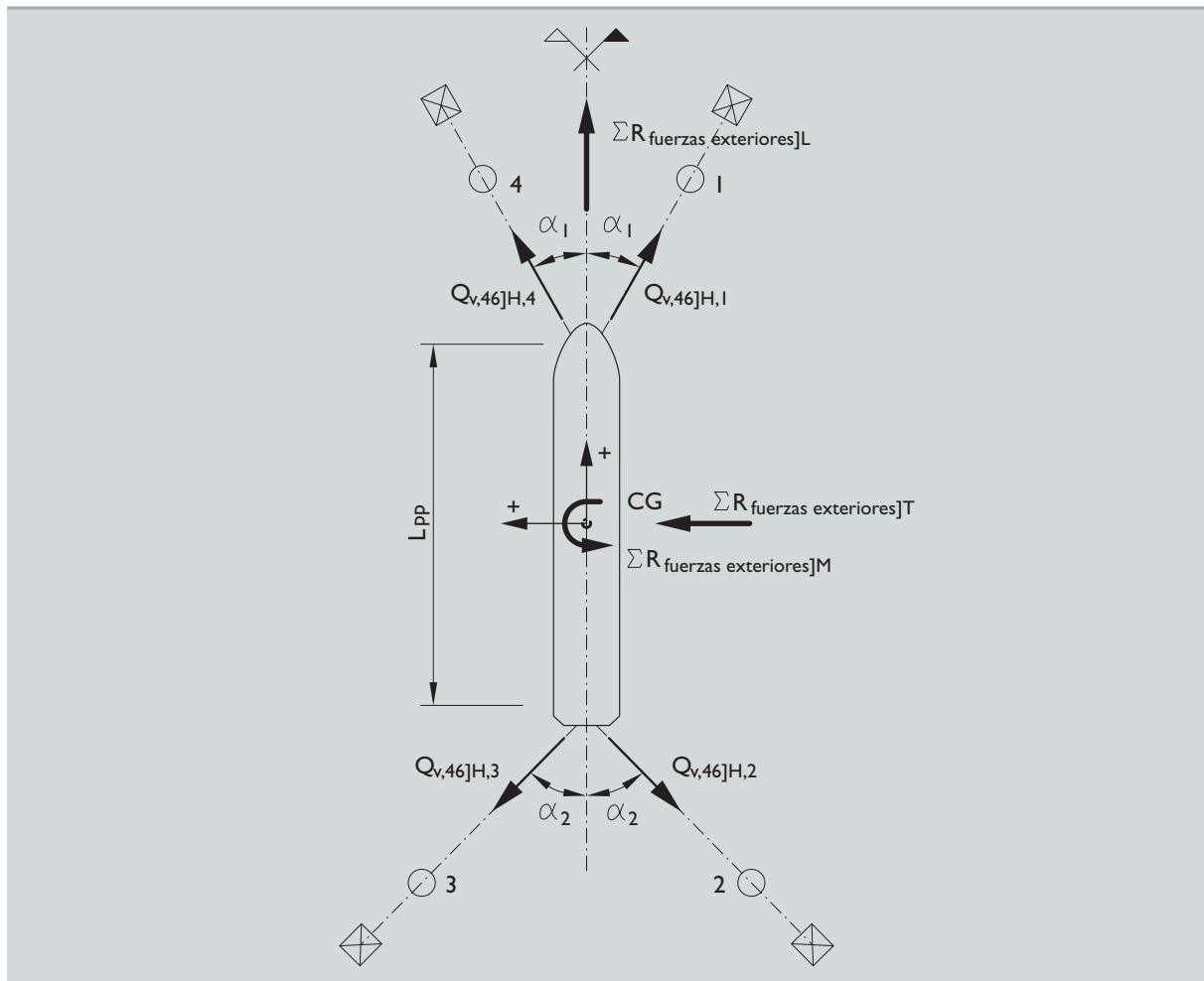
$$\begin{aligned}\Delta Q_{v,46}]_{H,1} &= \frac{-\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L}}{4 \cdot \cos \alpha} + \left( \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}}{2} + \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp}} \right) \cdot \frac{1}{2 \cdot \text{sen} \alpha} \\ \Delta Q_{v,46}]_{H,2} &= \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L}}{4 \cdot \cos \alpha} - \left( \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}}{2} - \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp}} \right) \cdot \frac{1}{2 \cdot \text{sen} \alpha} \\ \Delta Q_{v,46}]_{H,3} &= \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L}}{4 \cdot \cos \alpha} - \left( \frac{-\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}}{2} + \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp}} \right) \cdot \frac{1}{2 \cdot \text{sen} \alpha} \\ \Delta Q_{v,46}]_{H,4} &= \frac{-\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L}}{4 \cdot \cos \alpha} + \left( \frac{-\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}}{2} - \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp}} \right) \cdot \frac{1}{2 \cdot \text{sen} \alpha}\end{aligned}$$

En el caso de que la resolución del anterior sistema diera lugar a una carga global negativa en algunas de las líneas de amarre (pretensión inicial + decremento de la carga de amarre generado de valor negativo), significaría que se produce su destensamiento, debiéndose rehacer los cálculos eliminando dichas líneas de amarre y considerando una pretensión inicial compatible en cada una de las restantes líneas que mantenga el buque estabilizado en su posición de reposo, o bien establecer mayores condiciones de pretensión inicial de todas las líneas con el objeto de que quede garantizado que no se produce el destensamiento de ninguna de ellas. La pretensión inicial de las líneas de amarre adoptadas por el Promotor o, en su caso, el Proyectista correspondientes a cada buque, condición de carga del mismo y condición de trabajo deberán quedar consignadas en las condiciones de explotación de la instalación.

#### a<sub>2</sub>) Simplificaciones admisibles para la distribución de la componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado entre los distintos elementos que componen el sistema de amarre

Del lado de la seguridad, para obtener las cargas de amarre críticas son admisibles las siguientes simplificaciones al procedimiento general establecido en el epígrafe a<sub>1</sub>) de este apartado para la distribución de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado entre los distintos elementos que componen los sistemas de amarre, defensa y atraque, dirigidas a facilitar la resolución del sistema de ecuaciones:

**Figura 4.6.4.37. Esquema de cálculo para la determinación de las cargas de amarre en el caso de buque amarrado a un sistema de amarre de orientación fija constituido por dos puntos de amarre en proa y dos en popa**



a<sub>21</sub>) Buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija con muelle, pantalán o conjunto de duques de alba (para buques con  $L \geq 25$  m)

- Resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado en el sentido de alejamiento del mismo de la obra de atraque

Cuando la resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado es en sentido de alejamiento del mismo de la obra de atraque podrá considerarse que las fuerzas restauradoras son únicamente producidas por las líneas de amarre, sin contribución de las defensas, pudiéndose obtener según cualquiera de los siguientes métodos:

- **MÉTODO I**

La componente de la resultante en sentido longitudinal del buque se supone que es resistida únicamente por los esprines. Asimismo, se supone que la componente transversal y el momento de eje vertical son resistidos únicamente por los traveses de proa y popa o, en su ausencia, por los largos.

La aplicación de este método conlleva que pueda considerarse que el valor absoluto del alargamiento/acortamiento ( $\Delta l_{m,i}$ ) es idéntico en cada esprín, simplificándose el procedimiento general para obtener las variaciones de carga en los esprines a la siguiente formulación (117):

$$\begin{aligned}\Delta Q_{v,46,m,i} &= \frac{\Delta Q_{v,46,m,i}L}{\cos \alpha_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i}} = \frac{k_{m,i}L}{\cos \alpha_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i}} \cdot \frac{\Delta l_{m,i}}{l_{m,i}} = \\ &= \frac{k_{m,i}L}{l_{m,i} \cdot \cos \alpha_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i}} \cdot \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L}}{\sum_j (|k_{m,j}L|/l_{m,j})}\end{aligned}$$

En el caso de que todos los esprines tuvieran idénticas características geométricas y resistentes:

$$\Delta Q_{v,46,mi} = \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L} \cdot \frac{1}{\sum_j (|\cos \alpha_{m,j}| \cdot \cos \beta_{m,j})}$$

Siendo  $j$  los esprines que se mantienen en tensión. El signo de  $\Delta Q_{v,46,mi}$  será positivo o negativo en función de que la dirección de actuación de la componente longitudinal de la resultante de las fuerzas exteriores produzca un acortamiento o un alargamiento del esprín  $i$  considerado.

De igual forma, la aplicación de este método conlleva que pueda considerarse que el alargamiento de los traveses de proa y popa debido a la componente transversal de la resultante de las fuerzas exteriores ( $\Delta l_{m,k}T$ ) es idéntico en cada través, así como que el valor absoluto del alargamiento/acortamiento de los mismos debido al momento de eje vertical ( $\Delta l_{m,k}M$ ) es también idéntico en cada uno de ellos siempre que la disposición de las líneas de amarre sea simétrica respecto al centro geométrico del buque, simplificándose el procedimiento general para obtener la carga en los traveses a la siguiente formulación:

$$\begin{aligned}\Delta Q_{v,46,m,k} &= \frac{k_{m,k}T}{\text{sen} \alpha_{m,k} \cdot \cos \beta_{m,k}} \cdot \frac{\Delta l_{m,k}T}{l_{m,k}} + \frac{k_{m,k}T}{\text{sen} \alpha_{m,k} \cdot \cos \beta_{m,k}} \cdot \frac{\Delta l_{m,k}M}{l_{m,k}} = \\ &= \frac{k_{m,k}T}{l_{m,k} \cdot \text{sen} \alpha_{m,k} \cdot \cos \beta_{m,k}} \cdot \left[ \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}{\sum_s (k_{m,s}T/l_{m,s})} \pm \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}{\sum_s (|k_{m,s}T| \cdot a_{m,s}/l_{m,s})} \right]\end{aligned}$$

En el caso de que los traveses de proa y popa tuvieran idénticas características geométricas y resistentes:

$$\begin{aligned}\Delta Q_{v,46,m,k} &= \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} \cdot \frac{1}{\sum_s (\text{sen} \alpha_{m,s} \cdot \cos \beta_{m,s})} \pm \\ &\pm \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M} \cdot \frac{1}{\sum_s (|\text{sen} \alpha_{m,s} \cdot \cos \beta_{m,s} \cdot a_{m,s}|)}\end{aligned}$$

Siendo  $s$  los traveses de proa y popa que se mantienen en tensión. Se adoptará en el segundo sumando el signo más o menos en función de que el momento de eje vertical resultante de las fuerzas exteriores de lugar a incremento o reducción de la carga, respectivamente, en el través  $k$  considerado.

(117) El significado de los símbolos utilizados en los epígrafes  $a_{21}$ ) de este apartado se definen al inicio del epígrafe a) del mismo apartado y particularmente en la figura 4.6.4.33.

- MÉTODO 2

En aquellos casos en los que todas las líneas de amarre tengan idénticas características geométricas y resistentes, puede suponerse que todas las líneas de amarre del mismo tipo (esprines o largos/traveses de proa o traveses/largos de popa) reciben el mismo valor absoluto de incremento o decremento de carga debido a cada componente de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado, independientemente de su posición e inclinación, admitiéndose que la componente longitudinal de la resultante de las fuerzas exteriores es resistida únicamente por los esprines y la componente transversal y el momento de eje vertical son resistidos únicamente por traveses y largos.

Estas hipótesis permiten la simplificación de la formulación establecida en el procedimiento general, obteniéndose el valor de los máximos incrementos de carga que se pueden producir en cada tipo de línea de amarre mediante la siguiente formulación:

En los esprines:

$$\Delta Q_{v,46,m}[\text{esprín}] = \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]L}{\sum_i (|\cos \alpha_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i}|)}$$

Siendo  $i$  los esprines que se mantienen en tensión durante la actuación de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado. Es decir,  $i$  se corresponderá con todos los esprines si se cumple:

$$\frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]L}{\sum_i (|\cos \alpha_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i}|)} \leq Q_{v,46,m}[\text{inicial}]$$

En los largos y traveses de proa y popa:

$$\Delta Q_{v,46,m}[\text{través/largo}] = \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]T}{\sum_j (\text{sen} \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j})} \pm \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]M}{\sum_j |\text{sen} \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j} \cdot a_{m,j}|}$$

Siendo  $j$  los largos y traveses de proa y popa que se mantienen en tensión durante la actuación conjunta de la componente transversal y del momento de eje vertical de la resultante de las fuerzas exteriores. Es decir,  $j$  se corresponderá con todos los traveses y largos si se cumple alguna de las dos siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} & \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]T}{\sum_j (\text{sen} \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j})} - \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]M}{\sum_j |\text{sen} \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j} \cdot a_{m,j}|} \geq 0 \\ & \left| \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]T}{\sum_j (\text{sen} \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j})} - \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]M}{\sum_j |\text{sen} \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j} \cdot a_{m,j}|} \right| \leq Q_{v,46,m}[\text{inicial}] \\ & \text{si } \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]T}{\sum_j (\text{sen} \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j})} - \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]M}{\sum_j |\text{sen} \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j} \cdot a_{m,j}|} < 0 \end{aligned}$$

En resumen, deberán considerarse en los cálculos todas las líneas de amarre (esprines, largos y traveses de proa y popa) si, de acuerdo con las recomendaciones de buena práctica incluidas en esta Recomendación, se adopta en cada una de ellas un nivel de pretensión inicial suficiente para que se mantengan tensionadas cuando actúa

• **MÉTODO 3**

Por aplicación del método 2 a las configuraciones tipo de sistemas de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado, establecidas en esta Recomendación para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque Tipos I y II (ver tablas 4.6.4.50 y 4.6.4.52) y considerando del lado de la seguridad que las líneas de amarre no están dotadas de un nivel de tensión inicial suficiente que las mantenga tensionadas cuando actúan las fuerzas exteriores, pueden obtenerse las siguientes conclusiones:

- Si la configuración del sistema de amarre está formada por seis líneas de amarre (dos esprines, dos largos/traveses en proa y dos largos/traveses en popa) puede admitirse simplificada-mente que como máximo los incrementos de carga que se pueden producir en las líneas de amarre por la actuación de la resultante de las fuerzas exteriores son:

En largos y traveses:

$$\Delta Q_{v,46,m}]través/largo = \frac{2}{5} \cdot \left[ \sum R_{fuerzas\ exteriores}]_T + \frac{\sum R_{fuerzas\ exteriores}]_M}{L_{pp} / 2} \right]$$

$$si \sum R_{fuerzas\ exteriores}]_T > \frac{\sum R_{fuerzas\ exteriores}]_M}{L_{pp} / 2}$$

$$\Delta Q_{v,46,m}]través/largo = \frac{3}{4} \cdot \left[ \sum R_{fuerzas\ exteriores}]_T + \frac{\sum R_{fuerzas\ exteriores}]_M}{L_{pp} / 2} \right]$$

$$si \sum R_{fuerzas\ exteriores}]_T < \frac{\sum R_{fuerzas\ exteriores}]_M}{L_{pp} / 2}$$

En esprines:

$$\Delta Q_{v,46,m}]sprin = 1,12 \cdot \left[ \sum R_{fuerzas\ exteriores}]_L \right] \quad (120)$$

- Si la configuración del sistema de amarre está formada por cuatro líneas de amarre (dos esprines, un largo/través en proa y uno en popa) puede admitirse simplificada-mente que como máximo los incrementos de carga que se pueden producir en las líneas de amarre por la actuación de la resultante de las fuerzas exteriores son:

En largos/traveses:

$$\Delta Q_{v,46,m}]través/largo = 1,10 \cdot \left[ \sum R_{fuerzas\ exteriores}]_T + \frac{\sum R_{fuerzas\ exteriores}]_M}{L_{pp} / 2} \right]$$

$$si \sum R_{fuerzas\ exteriores}]_T > \frac{\sum R_{fuerzas\ exteriores}]_M}{L_{pp} / 2} \quad (121)$$

(118) Equivale a que, con las configuraciones estándar de sistemas de amarre establecidos en esta Recomendación formados por seis líneas de amarre, en las circunstancias citadas un punto de amarre puede recibir adicionalmente como máximo 1/3 de las componentes transversales de la resultante de las fuerzas exteriores.

(119) Equivale a que, con las configuraciones estándar de sistemas de amarre establecidos en esta Recomendación formados por seis líneas de amarre, en las circunstancias citadas un punto de amarre puede recibir adicionalmente como máximo 2/3 de las componentes transversales de la resultante de las fuerzas exteriores.

(120) Equivale a que, con las configuraciones estándar de sistemas de amarre establecidos en esta Recomendación formados por seis líneas de amarre, un punto de amarre puede recibir adicionalmente como máximo la componente longitudinal de la resultante de las fuerzas exteriores.

(121) Equivale a que, con las configuraciones estándar de sistemas de amarre establecidos en esta Recomendación formados por cuatro líneas de amarre, en las circunstancias citadas un punto de amarre puede recibir adicionalmente como máximo 1/2 de las componentes transversales de la resultante de las fuerzas exteriores.

$$\Delta Q_{v,46,m}]_{\text{través/largo}} = 2,20 \cdot \left[ \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]_T + \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]_M}{L_{pp}/2} \right]$$

$$\text{si } \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]_T < \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]_M}{L_{pp}/2}$$

En esprines:

$$\Delta Q_{v,46,m}]_{\text{sprin}} = 1,12 \cdot \left[ \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]_L \right] \quad (123)$$

- Resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado en sentido de acercamiento y apoyo del mismo en la obra de atraque

Cuando la resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado es en sentido de acercamiento y apoyo del mismo en la obra de atraque podrá considerarse que las fuerzas restauradoras son producidas tanto por las líneas de amarre como por las defensas, pudiéndose obtener por cualquiera de los siguientes métodos:

- MÉTODO I

De la misma forma que en el caso de que la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado sea en sentido despegante, la componente de la resultante en sentido longitudinal del buque se supone que es resistida únicamente por los esprines (Ver Método I en el epígrafe correspondiente a “Resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado en sentido de alejamiento del mismo de la obra de atraque”).

No obstante, a diferencia del caso de que la resultante sea en sentido de alejamiento del mismo de la obra de atraque, se supone que la componente transversal y el momento de eje vertical pueden ser resistidos simultáneamente por los traveses de proa y popa, o en su ausencia por los largos, así como por las defensas localizadas en la mitad central del buque ( $0.5 \cdot L$ ) si éste tiene un tonelaje superior a 10.000 TPM o en la cuarta parte central del buque ( $0.25 \cdot L$ ) en buques hasta 10.000 TPM.

La aplicación de este método conlleva que pueda considerarse que el acortamiento de los traveses de proa y popa debido a la componente transversal de la resultante de las fuerzas exteriores ( $\Delta l_{m,i}]_T$ ) sea idéntico en cada través, y que el desplazamiento (compresión) de las defensas debido a dicha componente ( $\Delta \delta_{fc,j}]_{T,T}$ ) sea el mismo. La relación entre ambos factores es:

$$\Delta \delta_{fc,j}]_{T,T} = \Delta l_{m,i}]_{T,T} = \Delta l_{m,i}]_T \cdot \cos \beta_{m,i} \cdot \text{sen} \alpha_{m,i}$$

Asimismo, puede considerarse que el valor absoluto del acortamiento/alargamiento de los traveses debido al momento de eje vertical ( $\Delta l_{m,i}]_M$ ) es el mismo en cada uno de ellos, y que el valor absoluto de los desplazamientos de las defensas ( $\Delta \delta_{fc,j}]_{M,T}$ )

(122) Equivale a que, con las configuraciones estándar de sistemas de amarre establecidos en esta Recomendación formados por cuatro líneas de amarre, en las circunstancias citadas un punto de amarre puede recibir adicionalmente como máximo la componente transversal de la resultante de las fuerzas exteriores.

(123) Equivale a que, con las configuraciones estándar de sistemas de amarre establecidos en esta Recomendación formados por cuatro líneas de amarre, un punto de amarre puede recibir adicionalmente como máximo la componente longitudinal de la resultante de las fuerzas exteriores.



tiene una distribución lineal con desplazamiento nulo a la altura del centro geométrico del buque, siempre que la disposición de líneas de amarre y defensas sea simétrica respecto a dicho centro geométrico, relacionándose con el alargamiento/acortamiento de los traveses mediante la siguiente formulación:

$$\Delta\delta_{fc,j]M,T} = \left| \frac{b_{f,j}}{a_{m,i}} \right| \cdot \Delta l_{m,i]M,T} = \left| \frac{b_{f,j}}{a_{m,i}} \right| \cdot \cos \beta_{m,i} \cdot \text{sen} \alpha_{m,i} \cdot \Delta l_{m,i}$$

Con estas hipótesis, el procedimiento general para obtener la carga en las defensas se simplifica a la siguiente formulación:

$$\Delta Q_{v,46,f,j]T} = E_{f,j} \cdot \Delta\delta_{fc,j} = E_{f,j} \cdot \left[ \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}{\sum_s (k_{m,s]T} / (\cos \beta_{m,s} \cdot \text{sen} \alpha_{m,s} \cdot l_{m,s})) + \sum_k E_{f,k}} \pm \right. \\ \left. \pm |b_{f,j}| \cdot \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}{\sum_s \left| \frac{k_{m,s]T} \cdot a_{m,s}^2}{l_{m,s} \cdot \cos \beta_{m,s} \cdot \text{sen} \alpha_{m,s}} \right| + \left| \sum_k E_{f,k} \cdot b_{f,k}^2 \right|} \right]$$

En el caso de que los traveses de proa y popa, así como todas las defensas, tuvieran idénticas características geométricas y resistentes:

$$\Delta Q_{v,46,f,j]T} = E_{f,j} \cdot \left[ \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}{\frac{E_{m,i} \cdot A_{m,i}}{l_{m,i}} \cdot s + E_{f,j} \cdot k} \pm |b_{f,j}| \cdot \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}{\frac{E_{m,i} \cdot A_{m,i} \cdot a_{m,i}^2}{l_{m,i}} \cdot s + E_{f,j} \cdot \sum_k b_{f,k}^2} \right]$$

Siendo  $s$  los traveses de proa y popa que se mantienen en tensión y  $k$  las defensas que se mantienen comprimidas de entre las localizadas en la mitad central del buque si éste tiene un tonelaje superior a 10.000 TPM o en la cuarta parte central del mismo en buques hasta 10.000 TPM.

En el caso de que los traveses de proa y popa no se mantuvieran en tensión y las defensas tuvieran idénticas características geométricas y resistentes:

$$\Delta Q_{v,46,f,j]T} = \frac{1}{k} \cdot \left[ \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T \right] \pm |b_{f,j}| \cdot \left[ \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}{\sum_k b_{f,k}^2} \right]$$

Se adoptará en el segundo sumando el signo más o menos en función de que el momento de eje vertical resultante de las fuerzas exteriores de lugar a incremento o reducción de la carga, respectivamente, en la defensa  $j$  considerada.

De igual forma, con estas hipótesis, el procedimiento general para obtener las cargas en las líneas de amarre se simplifica a la siguiente formulación:

$$\Delta Q_{v,46,m,i} = \frac{k_{m,i]T} \cdot \Delta l_{m,i}}{l_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i} \cdot \text{sen} \alpha_{m,i}} = \frac{k_{m,i]T}}{l_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i} \cdot \text{sen} \alpha_{m,i}} \cdot \\ \cdot \left[ \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}{\sum_s \frac{k_{m,s]T}}{l_{m,s}} + \sum_k E_{f,k} \cdot \cos \beta_{m,i} \cdot \text{sen} \alpha_{m,i}} \pm \right. \\ \left. \pm \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}{\sum_s \left| \frac{k_{m,s]T} \cdot a_{m,s}}{l_{m,s}} \right| + \sum_k \left| \frac{E_{f,k} \cdot b_{f,k}^2 \cdot \cos \beta_{m,i} \cdot \text{sen} \alpha_{m,i}}{a_{m,i}} \right|} \right]$$

En el caso de que los traveses de proa y popa, así como todas las defensas, tuvieran idénticas características geométricas y resistentes:

$$\Delta Q_{v,46,m,i} = \frac{E_{m,i} \cdot A_{m,i}}{l_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i} \cdot \text{sen} \alpha_{m,i}} \cdot \left[ \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}{\frac{E_{m,i} \cdot A_{m,i} \cdot s}{l_{m,i}} + E_{j,k} \cdot k} \pm \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}{\left[ \frac{E_{m,i} \cdot A_{m,i}}{l_{m,i}} \cdot \sum_s |a_{m,s}| + E_{f,k} \cdot \sum_k \frac{b_{f,k}^2}{|a_{m,i}|} \right]} \right]$$

Teniendo  $s$  y  $k$  el mismo significado que el señalado en la formulación anterior incluida en este epígrafe.

Se adoptará en el segundo sumando el signo más o menos en función de que el momento de eje vertical resultante de las fuerzas exteriores de lugar a incremento o reducción de la carga, respectivamente, en la línea de amarre  $i$  considerada.

#### • MÉTODO 2

Por aplicación del método 1 de este apartado a las configuraciones estándar de sistemas de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado, establecidas en esta Recomendación (ver tablas 4.6.4.50, 4.6.4.51 y 4.6.4.52) y considerando del lado de la seguridad que las líneas de amarre no se mantienen en tensión cuando actúan las fuerzas exteriores en sentido de acercamiento y apoyo del buque en la obra de atraque, así como que las defensas no están dotadas de un nivel de compresión inicial suficiente que las mantenga comprimidas cuando actúan dichas fuerzas exteriores, pueden obtenerse las siguientes conclusiones:

- Puede admitirse simplificadaamente que en obras de atraque continuas (muelle o pantalán) como máximo los incrementos de carga que pueden producirse en las defensas por la actuación de la resultante de las fuerzas exteriores en sentido de acercamiento y apoyo del buque en la obra de atraque son:

En buques de más de 10.000 TPM:

$$\Delta Q_{v,46,f} = \frac{1}{4} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{1}{L/2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M} \quad (124)$$

$$\text{si } \frac{1}{4} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} \geq \frac{1}{L/2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

$$\Delta Q_{v,46,f} = \frac{1}{2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{1}{L/4} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M} \quad (125)$$

$$\text{si } \frac{1}{4} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} < \frac{1}{L/2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

En buques de hasta 10.000 TPM:

(124) Equivale a considerar que el momento de eje vertical resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado es soportado únicamente por las dos defensas más exteriores de las localizadas a ambos lados en la mitad central del buque.

(125) Equivale a considerar que el momento de eje vertical resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado es soportado únicamente por la defensa más exterior localizada a un lado en la mitad central del buque.

$$\Delta Q_{v,46,f} = \frac{1}{2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{1}{L/8} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M} \quad (126)$$

$$\text{si } \frac{1}{2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} \geq \frac{1}{L/8} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

$$\Delta Q_{v,46,f} = \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{1}{L/16} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M} \quad (127)$$

$$\text{si } \frac{1}{2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} < \frac{1}{L/8} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

- Puede admitirse simplificadaamente que en obras de atraque discontinuas (pantalán discontinuo o solución mixta) como máximo los incrementos de carga que pueden producirse en las defensas por la actuación de la resultante de las fuerzas exteriores en sentido de acercamiento y apoyo del buque en la obra de atraque son:

$$\Delta Q_{v,46,f} = \frac{1}{2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{1}{L/4} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

$$\text{si } \frac{1}{2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} \geq \frac{1}{L/4} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

$$\Delta Q_{v,46,f} = \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{1}{L/8} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

$$\text{si } \frac{1}{2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} < \frac{1}{L/4} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

### a<sub>3</sub>) Relación entre la carga de amarre media y la carga de amarre máxima y mínima más probable en una condición de trabajo

Considerando como hipótesis admisible que las cargas de amarre son acciones variables de carácter oscilatorio siempre y cuando la línea de amarre o la defensa considerada se mantenga en tensión o comprimida, respectivamente, en todo momento en la condición de trabajo considerada, en el rango de validez establecido de los modelos analíticos para la determinación de las acciones de amarre descritos en esta Recomendación (Ver apartado 4.6.4.4.7.1.3. a.) las cargas máximas y mínimas de amarre más probables en una condición de trabajo pueden definirse simplificadaamente a partir de las componentes medias o cuasi-estáticas obtenidas por aplicación de dichos modelos analíticos por medio de coeficientes de mayoración y minoración, respectivamente, que estiman la magnitud de las componentes máximas y mínimas de fluctuación respecto a dichos valores medios.

Dichos coeficientes son función de las características del buque, de las cargas actuantes sobre el mismo y de la tipología, disposición, dimensiones y características resistentes y de comportamiento de los sistemas de atraque y amarre, así como del valor de la pretensión en las amarras y de compresión en las defensas en relación con la correspondiente carga media en las mismas. Del lado de la seguridad y a falta de un análisis más detallado, con carácter general, independiente de la disposición y características de los sistemas de amarre y defensa adoptados, cuando las componentes

(126) Equivale a considerar que el momento de eje vertical resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado es soportado únicamente por las dos defensas más exteriores de las localizadas a ambos lados en la cuarta parte central del buque.

(127) Equivale a considerar que el momento de eje vertical resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado es soportado únicamente por la defensa más exterior localizada a un lado en la cuarta parte central del buque.

medias de las cargas de amarre se determinen mediante modelos analíticos es admisible considerar 2.0 como valor de dichos coeficientes de mayoración/minoración. Es decir:

$$\begin{aligned}\hat{Q}_{v,46,m,i]_{\max}} &= 2,0 \cdot Q_{v,46,m,i]_{media}} = 2,0 \cdot \bar{Q}_{v,46,m,i} \\ \hat{Q}_{v,46,f,j]_{\max}} &= 2,0 \cdot Q_{v,46,f,j]_{media}} = 2,0 \cdot \bar{Q}_{v,46,f,j}\end{aligned}$$

#### a<sub>4</sub>) Definición de las condiciones límite de operatividad para la permanencia del buque en el atraque

Salvo en condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque con buque atracado (Ver apartado 4.6.4.2), así como en condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de operaciones de atraque (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.1), la determinación de las cargas de amarre asociadas a la flota de buques esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos establecidas por el Promotor de la instalación, exige de éste la definición previa de las condiciones climáticas y operativas límite, en magnitud y dirección, para cada uno de los agentes de carácter variable actuantes sobre el buque amarrado que, en función de los criterios de diseño, explotación o seguridad establecidos para la instalación de atraque, se adoptan para la permanencia de cada uno de los buques en el atraque, considerando todas las causas que pueden dar lugar a este modo de parada operativa. Es decir, las condiciones climáticas y operativas que si se superan obligan al abandono del puesto de atraque por parte del buque.

Las causas de suspensión de la permanencia del buque en el atraque a considerar son:

1. Suspensión por no quedar garantizada la funcionalidad del buque en el atraque por incompatibilidad entre la configuración del sistema de amarre prevista en el proyecto, los medios auxiliares disponibles en el puerto (p.e. remolcadores), en su caso, y los movimientos del buque.
2. Suspensión por insuficiencia de calado.
3. Suspensión por superación de la máxima carga admisible en el casco del buque o en alguno de los elementos que conforman el sistema de amarre (defensas, bolardos, líneas de amarre, ...).
4. Suspensión por situación de emergencia del buque, de la instalación de atraque o de la terminal por causas propias o ajenas. <sup>(128)</sup>

#### ■ CAUSA 1 DE SUSPENSIÓN DE LA PERMANENCIA DEL BUQUE EN EL ATRAQUE

Para la causa de suspensión de la permanencia del buque en el atraque por incompatibilidad entre la configuración del sistema de amarre prevista en el proyecto, los medios auxiliares disponibles y los movimientos del buque, los valores umbrales de operatividad de las variables que caracterizan a los agentes actuantes sobre el buque amarrado (viento, corrientes, oleaje, ...) se definirán considerando sucesivamente cada variable como predominante, el resto de variables desfavorables simultáneas actuando con los valores representativos de compatibilidad con el valor adoptado para la variable predominante en el estado meteorológico u operativo de proyecto que define las condiciones de trabajo operativas (Ver apartado 4.6.2.1 y epígrafe de este apartado a<sub>4</sub> referente a la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últi-

(128) La causa 4 de suspensión de la permanencia del buque en el atraque no tiene incidencia para la determinación de las condiciones climáticas y operativas límite de las que son función las cargas de amarre. No obstante, esta causa de suspensión debe analizarse siempre y particularmente en las terminales de mercancías peligrosas con el objeto de tener establecido en los manuales de explotación de la instalación a dónde y en qué condiciones se lleva al buque cuando se produce cada situación de emergencia que obliga al abandono del buque del puesto de atraque, dependiendo de las condiciones climáticas existentes en ese momento. En este sentido se señala que el Promotor de la instalación puede establecer la permanencia del buque en el atraque cuando se produzcan determinadas situaciones de emergencia (p.e. rotura de la amarra más cargada). En estos casos deberá verificarse que en esta situación no se produce la causa 3 de suspensión de la permanencia del buque en el atraque.

mos en condiciones de operación correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque) y estudiando el valor límite de esta variable a partir de la cual los movimientos del buque, en las situaciones límite de carga del mismo, no se mantienen en el rango admisible. A estos efectos pueden considerarse como valores admisibles de los movimientos el 80% de los señalados en la tabla 4.6.4.48 con el objeto de tomar en consideración que los modelos analíticos permiten únicamente definir las componentes medias de movimientos y cargas de amarre.

En el caso de que la variable considerada como predominante pueda actuar en varias direcciones, los valores umbrales deberán diferenciarse por sectores direccionales de actuación. En el caso de que el agente predominante pueda actuar en cualquier dirección, se diferenciarán como mínimo cuatro sectores direccionales, dos centrados con la dirección el eje longitudinal del buque (uno en el sentido de proa a popa y otro en el sentido de popa a proa) y dos con la dirección perpendicular al mismo (uno en sentido de alejamiento del buque de la obra de atraque y otro en sentido de acercamiento y apoyo del buque en dicha obra). A los efectos de los valores de compatibilidad de las variables de actuación simultánea con el valor y dirección adoptados para la variable predominante, en el caso de que una variable independiente de la adoptada como predominante pueda actuar en varios sectores direccionales, se adoptará como dirección y sentido de actuación de la misma la que pueda dar lugar a los efectos analizados más desfavorables tomando en consideración la dirección de actuación de la variable predominante. Simplificadamente puede adoptarse como dirección y sentido de actuación de la misma la más próxima a la considerada para la variable predominante.

A falta de estudios más precisos entre movimientos del buque y agentes actuantes sobre el buque amarrado, pueden adoptarse con carácter general como valores umbrales de la variable climática considerada como predominante que limitan la permanencia del buque en el atraque por razones funcionales asociadas con los movimientos de los buques los recogidos en la tabla 3.2.1.3. de esta Recomendación o, de forma más precisa, en la tabla 4.6.4.49 en función de si la disposición del sistema de amarre adoptada es la recomendada para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque Tipos I y II o Tipo III. Se considerará que las variables no contempladas en dichas tablas no limitan esta condición operativa.

#### ■ CAUSA 2 DE SUSPENSIÓN DE LA PERMANENCIA DEL BUQUE EN EL ATRAQUE

Para la causa de suspensión de la permanencia del buque en el atraque por insuficiencia de calado se tomarán como variables que pueden limitar la operatividad tanto el nivel bajo de las aguas exteriores como las variables de los agentes climáticos y operativos que inciden en el calado dinámico del buque (Ver ROM 3.1-99), considerando sucesivamente cada una de dichas variables como predominante y para el resto de variables los valores representativos compatibles de los agentes desfavorables a estos efectos que pueden actuar simultáneamente sobre el buque amarrado en el estado meteorológico de proyecto que define las condiciones de trabajo operativas (Ver apartado 4.6.2.1 y epígrafe de este apartado  $a_4$  referente a la verificación de modo de fallo adscritos a estados límite últimos en condiciones de operación correspondiente al estado límite de permanencia del buque en el atraque). Para fijar los límites de operatividad de cada una de estas variables por esta causa de suspensión, se considerará el calado total del buque, en las situaciones límite de carga del mismo, (es decir, la suma de su calado estático, sobrecalados adicionales, calado dinámico y márgenes de seguridad) en los estados meteorológicos u operativos asociados a la variable adoptada como predominante, estudiando el valor límite de dicha variable a partir de la cual el calado dinámico del buque es mayor o igual al calado existente en el emplazamiento en el estado meteorológico u operativo definido por la misma. En lo que respecta a las direcciones de actuación de las variables consideradas como predominantes y de las variables de actuación simultánea será de aplicación lo dispuesto para la causa I de suspensión. El procedimiento de cálculo de los calados dinámicos se incluye en la ROM 3.1-99.

### ■ CAUSA 3 DE SUSPENSIÓN DE LA PERMANENCIA DEL BUQUE EN EL ATRAQUE

Para la causa de suspensión de la permanencia del buque en el atraque por superación de la máxima carga admisible en el casco del buque o en alguno de los elementos que conforman el sistema de amarre deberán previamente correlacionarse los valores máximos de las cargas de amarre (componentes medias mayoradas) con los valores medios y éstos con la resultante de las fuerzas exteriores actuantes sobre el buque amarrado. En este caso los umbrales de operatividad de las variables que caracterizan a los agentes actuantes se definirán siguiendo el mismo proceso que el establecido para la causa 1 de suspensión pero estudiando el valor límite de cada variable considerada como predominante a partir de la cual se alcanza la máxima carga admisible en el casco del buque o en alguno de los elementos que conforman el sistema de amarre del buque, en las situaciones límite de carga de los mismos <sup>(129)</sup>.

Se adoptarán a estos efectos como máximas cargas admisibles en el casco del buque y en los elementos que conforman el sistema de amarre en condiciones de trabajo operativas:

- En el casco del buque: los valores máximos admisibles de las presiones sobre el casco de los buques establecidos en la tabla 4.6.4.42. de esta Recomendación.
- En líneas de amarre: el 50% de la carga última de la línea de amarre o el 40% de la misma cuando no quede garantizado por requerimientos de explotación o de seguridad del buque una adecuada renovación y mantenimiento de las amarras, así como en buques con dispositivos de tensión constante.
- En defensas: la correspondiente al desplazamiento maximal de la defensa (y, en su caso, también de la obra de atraque) que define el dominio admisible.
- En bolardos, bitas, ganchos de amarre u otros equipos auxiliares de sujeción de las líneas de amarre: el 80% de la capacidad resistente del equipo.

Una vez obtenidas, para cada buque con la configuración y características del sistema de amarre considerados, las funciones de correlación entre cada movimiento horizontal del buque amarrado, las componentes de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores que lo genera y las cargas de amarre a que da lugar (ver figura 4.6.4.34), con el objeto de facilitar el procedimiento para la obtención de los límites de operatividad en cada sector direccional, para cada variable adoptada como predominante será suficiente obtener movimientos del buque, cargas de amarre y calados asociados únicamente con los valores correspondientes a probabilidades absoluta de excedencia en el año medio en el emplazamiento del 15%, del 5%, del 1% y del 0,1%, en cada una de las direcciones en las que pueda presentarse dicha variable <sup>(130)</sup>. En el caso de que la variable predominante considerada no tenga componente direccional, los niveles de excedencia se obtendrán directamente en el régimen medio escalar. Para obtener los valores umbrales de operatividad será admisible la interpolación lineal entre los valores de movimientos, calados y cargas de amarre obtenidos para cada uno de dichos valores de la variable predominante. No obstante, podrán eliminar-

(129) La causa de suspensión de la permanencia del buque en el atraque por superación de la máxima carga admisible en el casco del buque o en alguno de los elementos que conforman el sistema de amarre no se tomará en consideración cuando el proyecto de dichos elementos se realiza con las cargas de amarre resultantes considerando únicamente las causas 1 y 2 de suspensión de permanencia del buque en el atraque y se redimensione, en su caso, el sistema de amarre readaptando la configuración y características iniciales adoptadas para el mismo para que sus características resistentes o las del casco del buque no sean causa de suspensión. Por el contrario, deberá considerarse cuando estos elementos se hayan dimensionado mediante la utilización de cargas mínimas de amarre o se trate de un proceso de verificación de una obra de atraque ya construida para nuevas condiciones de explotación de la instalación.

(130) La probabilidad absoluta anual de que una variable  $X_i$  correspondiente al sector direccional  $\alpha_j$  exceda un valor umbral  $X_{i0}$  se calcula por medio de la siguiente formulación:

$$P(X_i > X_{i0}, \alpha_j) = f(\alpha_j) \cdot P(X_i > X_{i0} | \alpha_j)$$

Siendo  $f(\alpha_j)$  la frecuencia de presentación del sector direccional  $\alpha_j$  y  $P(X_i > X_{i0} | \alpha_j)$  el régimen medio direccional definido en términos de probabilidad de excedencia, al que se denomina función de supervivencia direccional en el año medio.

se de los cálculos los niveles de excedencia en los cuales el valor de la variable asociado con los mismos se encuentre muy por debajo de los valores umbrales generales establecidos para la misma para cada una de las condiciones operativas en las tablas 3.2.1.3 y 4.6.4.49 de esta Recomendación.

En cualquier caso, no se eliminará la consideración del nivel de las aguas exteriores como variable predominante como mínimo con el valor asociado a una probabilidad de presentación del 0,1%, con el objeto de verificar de que para ese valor no se produce la suspensión de la permanencia del buque en el atraque por insuficiencia de calado. En el caso de que este modo de parada se produjera con este nivel de probabilidad, deberán también considerarse los valores asociados con el resto de probabilidades de presentación del nivel de las aguas exteriores.

El valor umbral límite para la permanencia de un buque en el atraque de cada una de las variables que caracterizan a los agentes actuantes en cada uno de los sectores direccionales será el más restrictivo de los valores umbrales de operatividad de dicha variable en cada dirección, considerando todas las causas de suspensión. No obstante, si alguno de estos valores no es alcanzable en el emplazamiento con una probabilidad absoluta anual de excedencia mayor de  $10^{-3}$ , podrá considerarse bien que:

- La variable en esa dirección no limita la condición operativa de permanencia del buque en el atraque.
- El valor umbral de operatividad de la variable en esa dirección es el asociado con dicha probabilidad absoluta anual de presentación.

En el caso que se establezcan valores umbrales límite de operatividad de una variable para la permanencia del buque en el atraque deberá quedar garantizada la existencia de instalaciones, sistemas, equipos y protocolos que permitan el abandono del buque del puesto de atraque en condiciones seguras cuando se superen los valores umbrales establecidos para la misma con los valores de compatibilidad para el resto de las variables actuantes sobre el buque. A estos efectos deberá realizarse especialmente un análisis de capacidad de los remolcadores disponibles. Si no quedara garantizado el abandono del buque del puesto de atraque en condiciones seguras para el valor umbral de una variable, se considerará que dicha variable no limita esta condición operativa, debiéndose modificar la configuración del sistema de amarre y/o los calados previstos inicialmente con el objeto de que el buque pueda permanecer en el puesto de atraque en condiciones seguras en condiciones extremas y excepcionales asociadas a dicha variable, considerando cualquier causa de suspensión. La utilización de esta configuración podrá considerarse bien con carácter general en todos los ciclos de solicitud o únicamente cuando se presenten condiciones extremas y excepcionales. En este caso, las condiciones de explotación de la instalación deberán establecer expresamente el cambio de configuración y características del sistema de amarre cuando se presenten estas últimas condiciones de trabajo.

Asimismo, con carácter general, las variables de los agentes climáticos y operativos para los cuales no se hayan definido condiciones límite en una dirección se considerarán que no son causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque, debiéndose garantizar su seguridad en el puesto de atraque en condiciones extremas y excepcionales asociadas a dichas variables cuando actúen en dicha dirección. Cuando, simplificada, las cargas de amarre se determinen únicamente para los buques de mayor y menor desplazamiento máximo de cada tipología diferenciada pertenecientes a la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite consideradas (ver epígrafe a<sub>5</sub> de este apartado), la definición de las condiciones límite de operatividad para la permanencia de los buques en el atraque se limitará a estos buques. Si el Promotor no define expresamente las condiciones límite de carga de los buques, los cálculos podrán limitarse a los buques en situación de plena carga y en lastre.

### **a<sub>5</sub>) Definición de las cargas de amarre mediante modelos analíticos**

Las cargas de amarre determinadas mediante la aplicación de los modelos analíticos, basados en la distribución de la resultante de las fuerzas exteriores actuantes sobre los buques entre los diferentes elementos que forman el sistema de amarre, se obtendrán a partir de la combinación de las



acciones simultáneas desfavorables que, en cada uno de los ciclos de sollicitación que pueden presentarse de forma compatible con las condiciones límite de permanencia en el atraque establecidas, actúan sobre el buque amarrado.

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las cargas de amarre se definirán:

a<sub>51</sub>) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilista

Para formulaciones deterministas y deterministas-probabilistas, los valores representativos de las cargas de amarre en cada estado de proyecto representativo de los diferentes ciclos de sollicitación en los que se considere la actuación de esta acción se obtendrán a partir de los siguientes valores de los factores de proyecto que intervienen en la formulación de la acción:

■ **Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos**

- *En condiciones de operación correspondiente al estado límite de permanencia del buque en el atraque con una determinada configuración y características del sistema de amarre*

Puede considerarse que las cargas de amarre son el agente de uso y explotación predominante que definen el modo de parada operativa correspondiente a la permanencia del buque en el atraque con una determinada configuración y características del sistema de amarre.

Para cada tipo de buque y situación de carga del mismo esperable en el atraque definido por sus parámetros geométricos representativos (Ver apartado 4.6.4.4.1), el valor representativo de las componentes medias de las cargas de amarre se definirá como el valor más desfavorable para el elemento del sistema de amarre considerado o el modo de fallo analizado, obtenido a partir de los correspondientes valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores debidas a los agentes que actúan simultáneamente sobre el buque amarrado, así como de los valores nominales de los parámetros que definen la configuración y características del sistema de amarre y defensas (longitudes, ángulos horizontales, módulos de deformación, ...) que puedan considerarse permanentes para dicho buque en dicha condición de trabajo (Ver apartado 4.6.4.4.7.1.1). Para aquellos parámetros que definen la configuración del sistema de amarre que dependen de algún agente actuante (p.e. ángulo de las líneas de amarre con la horizontal que depende del agente nivel de las aguas exteriores) se adoptará el valor asociado con los umbrales de operatividad cuando se considere este agente como predominante o con el valor de compatibilidad del agente del que depende en los casos en que se considere otro de los agentes actuantes como predominante.

Los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre cada buque y situación límite de carga del mismo se obtendrán como suma de las fuerzas debidas a cada uno de los agentes que pueden actuar sobre el buque, considerando sucesivamente como variable predominante cada una de las variables de los agentes atmosféricos básicos y climáticos marinos de carácter variable que limitan esta condición operativa. En cada uno de estos casos, el cálculo de la fuerza resultante se realizará considerando como valor representativo de la variable principal del agente predominante el correspondiente al valor umbral de operatividad establecido para dicho buque, diferenciado, en su caso, según las diferentes direcciones de actuación. Para la verificación de esta condición de trabajo con criterio incondicional de no fallo o con probabilidades de fallo menores del 5%, se adoptarán como valores de compatibilidad del resto de agentes actuantes los siguientes (Ver apartado 4.1.1.1.1. c):

- Para las variables principales de los agentes atmosféricos y climáticos de actuación simultánea, desfavorables para el elemento del sistema de amarre conside-

rado o el modo de fallo analizado, independientes del agente predominante, el valor de compatibilidad será el valor cuasi-permanente; es decir, el asociado con una probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio <sup>(131)</sup>, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para el buque que pudiera estar establecido individualmente para el correspondiente agente en el sector direccional considerado <sup>(132)</sup>. En el caso de que se superara se adoptará como valor representativo el citado límite de operatividad.

- Para las variables no principales tanto del agente predominante como del resto de agentes atmosféricos y climáticos marinos de actuación simultánea independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del predominante, el valor de compatibilidad será el correspondiente al cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor  $y$ , en su caso, dirección adoptados para la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada.
- Para los agentes operativos que actúen sobre el buque amarrado (p.e. succión y rechazo sobre el buque amarrado debida a los efectos hidrodinámicos inducidos por el paso de buques en tránsito, asientos y escoras causados por las modificaciones de las condiciones de carga del buque, ...) que sean desfavorables para el elemento del sistema de amarre considerado o el modo de fallo analizado se adoptará como valor representativo de su variable principal el asociado a las condiciones límite de explotación de la instalación o a los valores máximos previsibles (p.e. altura de ola máxima producida por los buques en tránsito) para la misma (Valores característicos y de combinación. Ver apartado 4.6.4.4.2.1).

En el caso de que el agente predominante pueda actuar en cualquier dirección, el cálculo de la fuerza resultante se realizará como mínimo tanto en la dirección del eje longitudinal del buque como en la dirección perpendicular al mismo, en sentido de alejamiento del buque de la obra de atraque o de acercamiento y apoyo del mismo en función del que sea más desfavorable para el elemento del sistema de amarre y atraque considerado o el modo de fallo analizado.

En el caso de que un agente independiente del agente predominante pueda actuar en varios sectores direccionales, se adoptará como dirección de actuación del mismo la que pueda dar lugar a los efectos analizados más desfavorables tomando en consideración la dirección de actuación de la variable predominante. Simplificadamente puede adoptarse como dirección y sentido de actuación del mismo la más próxima a la considerada para el agente predominante.

El valor característico de la componente media de la carga de amarre en cada punto de amarre y defensa será el mayor de los valores representativos de dichas cargas asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable, en las situaciones de carga

(131) En el caso de que el agente atmosférico o climático independiente del agente predominante actúe básicamente en una única dirección, la dirección no sea una variable de estado del mismo o no se disponga de regímenes medios direccionales, la probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio de la variable principal se corresponderá con el cuantil del 50% en el régimen medio de dicha variable. Si puede actuar en varias direcciones y se disponen de regímenes medios direccionales, el valor de compatibilidad asociado a un sector direccional  $\alpha_i$  será igual al correspondiente al cuantil  $[1-0,50/f(\alpha_i)]$  del régimen medio direccional o a cero si dicho valor es negativo, siendo  $f(\alpha_i)$  la frecuencia de presentación del sector direccional  $i$  (Ver Nota 41).

(132) Por ejemplo, la aplicación de este epígrafe conlleva que en los casos en los que se considere que el agente predominante actúe sobre el buque amarrado no son los niveles de las aguas exteriores y éstos son independientes del agente predominante, deberá considerarse como nivel de compatibilidad de las mismas a los efectos de la determinación de las cargas de amarre el nivel superior e inferior de las aguas exteriores los asociados con una probabilidad de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, los límites de operatividad establecidos para el nivel de las aguas. En el caso de que los niveles de las aguas exteriores se consideraran dependientes del agente predominante se estará a lo dispuesto en el epígrafe siguiente.

límite del buque en el atraque. A estos efectos es admisible considerar simplificada, para cada tipología diferenciada, los buques de mayor y menor desplazamiento máximo de la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite consideradas. Si el Promotor no define expresamente las condiciones límite de carga, los cálculos podrán limitarse a los buques en situación de plena carga y en lastre.

El valor característico de la carga de amarre será el valor característico de la componente media, multiplicado por el coeficiente de mayoración (Ver epígrafe  $a_3$  de este apartado).

El estado meteorológico asociado al valor característico de la carga de amarre en el elemento del sistema de amarre y para el modo de fallo considerado, definido por las direcciones y sentido de actuación y los valores representativos de los agentes atmosféricos básicos y climáticos marinos que dan lugar al mismo, se considerará como estado meteorológico representativo de las condiciones de operación correspondiente al estado límite de permanencia del buque en el atraque, utilizándose a los efectos de la obtención de los valores compatibles de otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan de los agentes meteorológicos.

- *En condiciones de operación correspondiente al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque con buque atracado*

Para cada tipo de buque y situación de carga del mismo esperable en el atraque, el valor representativo de las componentes medias de las cargas de amarre se definirá como el valor más desfavorable para el elemento del sistema de amarre considerado o el modo de fallo analizado, obtenido a partir de los correspondientes valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores debidas a los agentes que actúan simultáneamente sobre el buque amarrado considerando los estados meteorológicos compatibles con el definido como representativo de las condiciones de operación correspondiente al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque con buque atracado, adoptado para dicho buque y modo de fallo a los efectos de determinación de las cargas de manipulación, de forma equivalente a lo establecido para condiciones de operación correspondiente a los estados límite de permanencia del buque en el atraque. Los valores representativos de los agentes en los estados límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros para un determinado modo de fallo quedan definidos, respectivamente, en el apartado 4.6.4.2.1. Manipulación de mercancías en áreas de operación y en el apartado 4.6.4.2.3. Embarque y desembarque de pasajeros.

Los valores representativos de los agentes que actúan sobre el buque amarrado o sobre el sistema de amarre que no se incluyan en la definición del estado meteorológico representativo de las condiciones de operación correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros (p.e. en general el nivel de las aguas exteriores) serán los valores de compatibilidad obtenidos de igual forma que lo dispuesto al respecto para condiciones de operación correspondiente al estado límite de realización de las operaciones de permanencia del buque en el atraque.

Asimismo, para la obtención de los valores representativos de las componentes medias de las cargas de amarre correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o de embarque y desembarque deberán tomarse en consideración todas las direcciones de actuación de las variables que sean compatibles con las de las variables que definen cada estado meteorológico representativo de dichas condiciones de trabajo, sin perjuicio de las simplificaciones que puedan efectuarse de acuerdo con los criterios expuestos al respecto para condiciones de operación correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque.

El valor de combinación de la componente media de la carga de amarre en cada punto de amarre y defensa en estas condiciones de trabajo será el mayor de los valores representativos de dichas cargas asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable, en las situaciones de carga límite del buque en el atraque, sin perjuicio de las simplificaciones que puedan realizarse en los cálculos respecto a la consideración de los buques de acuerdo con los criterios expuestos al respecto para condiciones de operación correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque. El valor de combinación de la carga de amarre será el valor de combinación de la componente media, multiplicado por el coeficiente de mayoración (ver epígrafe  $a_3$  de este apartado).

- *En condiciones de operación correspondientes al estado límite de operaciones de atraque*

Esta condición de trabajo únicamente se tomará en consideración en aquellos casos en los que el elemento del sistema de amarre considerado o la estructura de atraque pueda recibir las cargas de amarre de atraques contiguos y/o los criterios de explotación de la instalación consideren específicamente la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante las maniobras de atraque y la actuación de dichas cargas sea desfavorable para el modo de fallo analizado.

Para la determinación de las cargas de amarre procedentes de atraques contiguos en esta condición de trabajo operativa, los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque contiguo, así como de las cargas de amarre asociadas, se obtendrán de forma equivalente a lo establecido en condiciones de operación correspondientes a los estados límite de permanencia del buque en el atraque, pero considerando como valores representativos de los agentes actuantes sobre el buque amarrado los correspondientes a los estados límite de realización de las operaciones de atraque, definidos a partir de los valores umbrales límite de los agentes actuantes establecidos, para cada buque y situación de carga del mismo, por el Promotor de la instalación para la realización de las maniobras de atraque.

En el caso de que el Promotor no establezca expresamente los valores umbrales límite de los agentes actuantes para la realización de las maniobras de atraque, será suficiente que defina las condiciones climáticas límite como favorables, moderadas o desfavorables de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.36, considerando que los agentes no contemplados en dicha tabla no limitan esta condición operativa.

El valor de compatibilidad de las cargas de amarre en el punto de amarre considerado en esta condición de trabajo será el valor de combinación definido como el mayor de los valores representativos de dichas cargas asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque contiguo, en las situaciones de carga límite de los buques en dicho atraque, con las simplificaciones admisibles al respecto para las otras condiciones de trabajo operativas.

Para las cargas de amarre debidas a la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante la maniobra de atraque, el valor de compatibilidad en el punto de amarre a tomar en consideración en el estado límite correspondiente a esta condición de trabajo será la carga última de la líneas de amarre utilizada a estos efectos por el buque al que está asociado el valor característico de la energía cedida al sistema de atraque durante la maniobra de atraque (ver apartado 4.6.4.4.3) <sup>(133)</sup>. A falta

(133) Independientemente de su consideración en la condición de operación correspondiente al estado límite de operaciones de atraque, cuando un punto de amarre pueda recibir líneas de amarre que se utilicen como elementos auxiliares durante la maniobra de atraque, deberá verificarse para la carga última de las líneas de amarre utilizadas a estos efectos por todos y cada uno de los buques esperables en el atraque.

de información más precisa podrá considerarse como valor de compatibilidad el correspondiente a la carga última del tipo y tamaño más común de las amarras embarcadas en dicho tipo y tamaño de buque (ver apartado 4.6.4.4.7.1.1.a. Epígrafe: características de las líneas de amarre).

- En condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario

En aquellos casos en los que la presentación de un agente atmosférico o climático marino en el emplazamiento en alguna dirección, para algún buque y situación de carga del mismo, no sea causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque deberá considerarse la posibilidad de actuación de cargas de amarre tanto en condiciones de trabajo extremas como excepcionales cuando sean desfavorables para el modo de fallo analizado.

► *En condiciones extremas*

Únicamente se considerará la actuación de cargas de amarre en condiciones extremas cuando el agente atmosférico o climático marino predominante para la definición del estado en proyecto en condiciones extremas más desfavorable para el modo de fallo analizado no es causa de limitación de la permanencia en el atraque de alguno de los buques pertenecientes a la flota esperable en el mismo <sup>(134)</sup>.

Los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre cada uno de los buques y situación de carga límite de los mismos en los que se den las condiciones señaladas, así como de los parámetros que definen la configuración del sistema de amarre que dependen de algún agente actuante, que permiten definir los valores representativos de las cargas de amarre en cada elemento del sistema de amarre, se obtendrán considerando como valor representativo del agente predominante que define el estado meteorológico extremal analizado el valor característico ( $T_R = 50$  años obtenido de la función de distribución de extremos marginal de la variable principal que define al agente en la dirección considerada, si se asigna una probabilidad de presentación del modo de fallo analizado en estas condiciones menor o igual al 5%), y como valores representativos del resto de agentes desfavorables para el modo de fallo considerado el valor de combinación (ver apartados 4.1.1.1.1. a. y 4.6.2.1 para la definición de los valores característicos y de combinación), sin superar, en su caso, el límite de operatividad que pudiera estar establecido individualmente para el correspondiente agente para la permanencia del buque en el atraque. En el caso de que se superara se adoptará como valor representativo el citado límite de operatividad. Las direcciones de actuación consideradas, en su caso, para cada una de las variables serán las compatibles con el estado meteorológico de proyecto adoptado para condiciones extremas y las mismas que las adoptadas para el cálculo de los valores representativos de los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan de los mismos.

El valor de compatibilidad de la componente media de las cargas de amarre en el punto de amarre y defensa considerado, en condiciones extremas, será el valor característico definido como el mayor de los valores representativos de la componente media de dichas cargas asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mis-

(134) Por ejemplo, en el caso de que los niveles de las aguas exteriores no sean causa de limitación de la permanencia de un buque en el atraque, deberá considerarse las condiciones de trabajo extremas y excepcional asociada a la adopción de los niveles de las aguas como agente predominante (valor representativo  $T_R = 50$  años y  $T_R = 500$  años, respectivamente).

mos, en los que se den las condiciones señaladas para considerar condiciones extremas, con las simplificaciones admisibles al respecto para las otras condiciones de trabajo.

El valor característico de la carga de amarre será el valor característico de la componente media, multiplicado por el coeficiente de mayoración (ver epígrafe  $a_3$  de este apartado).

- En condiciones excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario

Únicamente se considerará la actuación de cargas de amarre en condiciones excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario cuando dicho agente no es causa de limitación de la permanencia en el atraque de alguno de los buques esperables en el mismo y es el agente predominante para el modo de fallo considerado en condiciones extremas.

Los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre cada uno de los buques y situación de carga de los mismos en los que se den las condiciones señaladas, así como de los parámetros que definen la configuración del sistema de amarre que dependen de algún agente actuante, que permiten definir los valores representativos de las cargas de amarre en cada elemento del sistema de amarre, se obtendrán considerando como valor representativo de la variable principal del agente climático que define la condición de trabajo excepcional analizada su valor característico definido para estas condiciones ( $T_R = 500$  años obtenido de la función de distribución de extremos marginal de la variable que define al agente en la dirección considerada, si se asigna una probabilidad de presentación del modo de fallo analizado en estas condiciones menor o igual al 5 %), y como valores representativos del resto de agentes desfavorables para el modo de fallo analizado los valores de compatibilidad establecidos para dicha condición de trabajo (Ver apartados 4.1.1.1.1.b<sub>1</sub> y 4.6.2.1 para la definición de los valores característicos y de compatibilidad), sin superar, en su caso, el límite de operatividad que pudiera estar establecido individualmente para el correspondiente agente para la permanencia del buque en el atraque. En el caso de que se superara se adoptará como valor de compatibilidad el citado límite de operatividad. En lo que respecta a las direcciones de actuación será de aplicación lo señalado al efecto para condiciones extremas.

El valor de compatibilidad de la componente media de las cargas de amarre en el punto de amarre y defensa considerado, en condiciones excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, será el valor característico definido como el mayor de los valores representativos de dichas cargas asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos, en los que se den las condiciones señaladas para considerar condiciones excepcionales, con las simplificaciones admisibles al respecto para las otras condiciones de trabajo.

El valor de compatibilidad de la carga de amarre será el valor de compatibilidad de la componente media, multiplicado por el coeficiente de mayoración (ver epígrafe  $a_3$  de este apartado).

Deberán considerarse sucesivamente todos los agentes atmosféricos o climáticos marinos que no sean causa de limitación de la permanencia de alguno de los buques en el atraque como agentes predominantes para la definición de estados de proyecto en condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario.

- *En condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico*

El valor de compatibilidad de la componente media de las cargas de amarre en condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental será el valor frecuente o el cuasi-permanente, en función de que el agente variable predominante en dicha condición de trabajo para el modo de fallo analizado sea o no sea un agente climático y, en el caso de que lo sea, de que sea o no desfavorable para la determinación de las cargas de amarre actuantes en dicha condición de trabajo.

El valor frecuente de la componente media de las cargas de amarre en el punto de amarre y defensa considerado será el mayor de los valores frecuentes asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque en las situaciones de carga límite en las que puedan encontrarse, considerando que la configuración y características del sistema de amarre es la adoptada para condiciones de trabajo operativas. Para cada buque y situación de carga el valor frecuente de la componente media de las cargas de amarre se obtendrá a partir de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque, considerando como valores representativos de los agentes desfavorables que pueden actuar sobre el buque los siguientes:

- En el caso de que un agente climático sea el agente variable predominante en la condición de trabajo excepcional, para la variable principal de dicho agente, siempre que sea desfavorable para la determinación de las cargas de amarre actuantes, el valor de compatibilidad será el valor frecuente; es decir el asociado con una probabilidad absoluta de no excedencia del 85% en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para la permanencia del buque en el atraque que pudiera estar establecido individualmente para dicha variable. En caso de que se superara se adoptará el citado límite de operatividad.
- Para las variables principales de los agentes climáticos de actuación simultánea, desfavorables para la determinación de las cargas de amarre, independientes del agente predominante, el valor de compatibilidad será el valor cuasi-permanente; es decir, el asociado con una probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para la permanencia del buque en el atraque que pudiera estar establecido individualmente para dichas variables. En el caso de que se superara se adoptará el citado límite de operatividad.
- Para las variables no principales tanto del agente predominante como del resto de agentes climáticos de actuación simultánea independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del predominante, el valor de compatibilidad será el correspondiente al cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección adoptados para la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada.
- En esta condición de trabajo no se considerará la participación de agentes operativos para la determinación de la resultante sobre el buque amarrado.

El valor cuasi-permanente de la componente media de las cargas de amarre en el punto de amarre y defensa considerado será el mayor de los valores cuasi-permanentes asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque en las situaciones de carga límite en las que puedan encontrarse, considerando que la configuración y características del sistema de amarre es la adoptada para condiciones de trabajo operativas. Para cada buque y situación de carga el valor cuasi-permanente de la componente media de las cargas de amarre se obtendrá a partir de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque, considerando como valores representativos de los agentes desfavorables que pueden actuar sobre el buque los siguientes:



- ▮ Para las variables principales de los agentes climáticos de actuación simultánea independientes entre sí, desfavorables para la determinación de las cargas de amarre, el valor de compatibilidad será el valor cuasi-permanente; es decir, el asociado con una probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad de permanencia del buque en el atraque que pudiera estar establecido individualmente para dicha variable. En el caso de que se superara se adoptará el citado límite de operatividad.
- ▮ Para las variables no principales de los agentes climáticos de actuación simultánea, así como para las variables de los agentes climáticos que pueden considerarse dependientes de otro, el valor de compatibilidad será el correspondiente al cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección adoptados para la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada.
- ▮ En esta condición de trabajo no se considerará la participación de agentes operativos para la determinación de la resultante sobre el buque amarrado.

Las direcciones de actuación consideradas para cada uno de las variables serán las compatibles con los estados meteorológicos correspondientes a estas condiciones de trabajo y las mismas que las adoptadas para el cálculo de los valores representativos de los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan de los mismos.

El valor frecuente y cuasi-permanente de la carga de amarre serán, respectivamente el valor frecuente y cuasi-permanente de la componente media, multiplicado por el coeficiente de mayoración (ver epígrafe a<sub>3</sub> de este apartado).

- *En condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica*

El valor de compatibilidad de las cargas de amarre en condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica será el valor cuasi-permanente, obtenido de acuerdo con lo señalado en el epígrafe anterior.

En el caso de que un punto de amarre pueda recibir cargas de amarre de atraques contiguos en función de las disposiciones de amarre establecidas por criterios de explotación, cuando su actuación sea desfavorable para el modo de fallo analizado se adoptarán como valores de compatibilidad de las cargas de amarre transmitidas por el atraque contiguo las más desfavorables, considerando la flota esperable en dicho atraque, en el estado meteorológico representativo de las condiciones de trabajo consideradas en el atraque analizado.

Los valores representativos de las cargas de amarre, utilizando para su determinación modelos matemáticos analíticos, se resumen en la tabla 4.6.4.65.

#### ■ **Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio**

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que intervengan cargas de amarre y el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación sea la combinación poco probable o fundamental, será de aplicación lo dispuesto para los valores representativos de las mismas en el epígrafe correspondiente a la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos en función de las condiciones de trabajo operativas y extremas consideradas. Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente se adoptarán como valores

representativos de las cargas de amarre los valores frecuentes y cuasi-permanentes definidos en el citado epígrafe.

**Tabla 4.6.4.65. Valores representativos de las componentes medias de las cargas de amarre utilizando modelos matemáticos analíticos para su determinación (Para la verificación de estados límite últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo)**

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO
Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes al estado límite de normal permanencia del buque en el atraque (CTI,1)	<p>El mayor valor representativo de la componente media de la carga de amarre, en el elemento de amarre considerado, entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable, en las situaciones límite de carga en el atraque. Siendo el valor representativo de la carga de amarre en cada uno de los buques y situaciones de carga el más desfavorable obtenido a partir de los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado, obtenidos considerando sucesivamente como variable predominante cada una de las variables de los agentes climáticos que limitan esta condición operativa y para el resto de variables actuantes los siguientes valores de compatibilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Variable principal del agente climático predominante: umbral de operatividad establecido para la permanencia del buque en el atraque en la dirección considerada.</li> <li>– Variables principales del resto de agentes climáticos de actuación simultánea desfavorables, independientes del agente predominante: probabilidad absoluta de no excedencia del 50%, en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para el buque que pudiera estar establecido individualmente para el agente en estas condiciones de trabajo. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad.</li> <li>– Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada.</li> <li>– Para los agentes operativos desfavorables: condición límite de explotación o valor máximo previsible.</li> </ul>
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR DE COMBINACIÓN
Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque con buque atracado (CTI,2)	<p>El mayor valor representativo de la componente media de la carga de amarre, en el elemento de amarre considerado, entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable, en las situaciones límite de carga en el atraque. Siendo el valor representativo de la carga de amarre en cada uno de los buques y situaciones de carga el más desfavorable obtenido a partir de los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado, obtenidos considerando los estados meteorológicos representativos de las condiciones de operación correspondiente al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque o desembarque. Es decir considerando los siguientes valores de las variables actuantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Variable principal del agente climático predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque en el buque: umbral de operatividad establecido para la realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque en el buque considerado.</li> <li>– Variables principales del resto de agentes climáticos de actuación simultánea desfavorables, independientes del agente predominante: probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para dicho buque que pudiera estar establecido individualmente para el agente en estas condiciones de trabajo. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad. Las direcciones de actuación de estas variables serán compatibles con las que definen el valor representativo de las acciones de “manipulación de mercancías en el área de operación” o “embarque y desembarque de pasajeros” de actuación simultánea.</li> <li>– Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada.</li> <li>– Para los agentes operativos desfavorables: condición límite de explotación o valor máximo previsible.</li> </ul> <p>Deberán tomarse en consideración todas las direcciones de actuación de las variables que sean compatibles con las de las variables que definen el estado meteorológico representativo de las condiciones de operación correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque.</p>

**Valores representativos de las componentes medias de las cargas de amarre utilizando modelos matemáticos analíticos para su determinación (Para la verificación de estados límite últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo) (continuación)**

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR DE COMBINACIÓN
Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes al estado límite de operaciones del atraque (CT1,3)	<p>El mayor representativo de la componente media de la carga de amarre, en el elemento de amarre considerado, entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable, en las situaciones límite de carga en el atraque. Siendo el valor representativo de la carga de amarre en cada uno de los buques y situaciones de carga el más desfavorable obtenido a partir de los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado, obtenidos considerando los estados meteorológicos representativos de las condiciones de operación correspondiente a los estados límite de realización de las operaciones de atraque. Es decir, considerando los siguientes valores de las variables actuantes:</p> <p>PARA LA DETERMINACION DE CARGAS DE AMARRE PROCEDENTES DE ATRAQUES CONTIGUOS <sup>1)</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Variable principal del agente climático predominante: umbral de operatividad del buque establecido para las operaciones de atraque.</li> <li>Variables principales del resto de agentes climáticos de actuación simultánea desfavorables, independientes del agente predominante: probabilidad absoluta de no excedencia del 50%, en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para dicho buque que pudiera estar establecido individualmente para el agente en estas condiciones de trabajo. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad.</li> <li>Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada.</li> <li>Para los agentes operativos desfavorables: condición límite de explotación o valor máximo previsible.</li> </ul> <p>PARA LA DETERMINACION DE CARGAS DE AMARRE DEBIDAS A LA UTILIZACION DE LINEAS DE AMARRE COMO ELEMENTOS AUXILIARES DURANTE LA MANIOBRA DE ATRAQUE <sup>2)</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Carga última de la línea de amarre utilizada a estos efectos por el buque al que está asociado el valor característico de la energía cedida al sistema de atraque durante la maniobra de atraque.</li> </ul>
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO
Condiciones de Trabajo Extremas <sup>3)</sup> (CT2)	<p>El mayor valor representativo de la componente media de la carga de amarre, en el elemento de amarre considerado, entre los correspondientes a cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos, considerando como agente climático predominante el que define el estado de proyecto en condiciones extremas analizado, el cual no deber ser causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque. Siendo el valor representativo de la carga de amarre en cada uno de dichos buques y situaciones de carga el más desfavorable obtenido a partir de los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado, obtenidos considerando el estado meteorológico extremal de proyecto adoptado. Es decir, considerando los siguientes valores de las variables actuantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Variable principal del agente climático predominante que define el estado meteorológico extremal: periodo de retorno (<math>T_R</math>) de 50 años obtenido de la función de distribución de extremos marginal en la dirección considerada <sup>4)</sup>.</li> <li>Variables principales del resto de agentes climáticos de actuación simultánea desfavorables, independientes del agente predominante: periodo de retorno (<math>T_R</math>) de 5 años obtenido de la función de distribución de extremos marginal en la dirección considerada, sin superar, en su caso, el límite de operatividad del buque que pudiera estar establecido individualmente para la permanencia del buque en el atraque. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad. Si la variable puede actuar en varias direcciones y se disponen de regímenes extremales direccionales, el valor de compatibilidad asociado a un sector direccional <math>i</math> será igual al correspondiente al cuantil <math>[1-p/f(\alpha_i)]</math> del régimen direccional de extremos utilizado o a cero si dicho valor es negativo, siendo <math>f(\alpha_i)</math> la frecuencia de presentación del sector direccional <math>i</math>, considerando únicamente las excedencias de los valores umbrales de la variable que definen las condiciones extremas y <math>p</math> la probabilidad de excedencia correspondiente al periodo de retorno de 5 años en la función extremal utilizada.</li> <li>Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable.</li> <li>Para los agentes operativos desfavorables: condición límite de explotación o valor máximo previsible.</li> </ul> <p>Las direcciones de actuación consideradas de cada una de las variables serán las compatibles con el estado meteorológico que define las condiciones extremas consideradas.</p>

**Valores representativos de las componentes medias de las cargas de amarre utilizando modelos matemáticos analíticos para su determinación (Para la verificación de estados límite últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo) (continuación)**

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO	
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario 5) (CT3,1)	<p>El mayor valor representativo de la componente media de la carga de amarre, en el elemento de amarre considerado, entre los correspondientes a cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos, considerando como agente climático predominante el que define el estado de proyecto en condiciones excepcionales analizado, el cual no debe ser causa de limitación de su permanencia del buque en el atraque. Siendo el valor representativo de la carga de amarre en cada uno de dichos buques y situaciones de carga el más desfavorable obtenido a partir de los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado, obtenidos considerando el estado meteorológico extraordinario de proyecto adoptado. Es decir, considerando los siguientes valores de las variables actuantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Variable principal del agente climático predominante que define el estado meteorológico excepcional: periodo de retorno (<math>T_R</math>) de 500 años obtenido de la función de distribución de extremos marginal en la dirección considerada.</li> <li>Variabes principales del resto de agentes climáticos de actuación simultánea desfavorables, independientes del agente predominante: periodo de retorno (<math>T_R</math>) de 5 años obtenido de la función de distribución de extremos marginal en la dirección considerada, sin superar, en su caso, el límite de operatividad del buque que pudiera estar establecido individualmente para la permanencia del buque en el atraque. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad. Si la variable puede actuar en varias direcciones y se disponen de regímenes extremos direccionales, el valor de compatibilidad asociado a un sector direccional <math>i</math> será igual al correspondiente al cuantil <math>[1-p/f(\alpha_i)]</math> del régimen direccional de extremos utilizado o a cero si dicho valor es negativo, siendo <math>f(\alpha_i)</math> la frecuencia de presentación del sector direccional <math>i</math>, considerando únicamente las excedencias de los valores umbrales de la variable que definen las condiciones extremas y <math>p</math> la probabilidad de excedencia correspondiente al periodo de retorno de 5 años en la función extremal utilizada.</li> <li>Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor <math>y</math>, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable.</li> <li>Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor <math>y</math>, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable.</li> <li>Para los agentes operativos desfavorables: condición límite de explotación o valor máximo previsible.</li> </ul> <p>Las direcciones de actuación consideradas de cada una de las variables serán las compatibles con el estado meteorológico de proyecto en condiciones excepcionales.</p>	
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico 6) (CT3,2)	<p>El mayor valor frecuente o el cuasi-permanente de la componente media de la carga de amarre, en el elemento de amarre considerado, entre los correspondientes a cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos. Siendo el valor frecuente o cuasi-permanente de la carga de amarre en cada uno de los buques y situaciones de carga el obtenido a partir de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque en el estado excepcional analizado, considerando como valores representativos de las variables actuantes los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>En el caso de que un agente climático sea el agente variable predominante en la condición de trabajo excepcional considerada, para la variable principal de dicho agente: probabilidad absoluta de no excedencia del 85% tomada del régimen medio.</li> <li>Variabes principales del resto de agentes climáticos de actuación simultánea desfavorables, independientes del agente predominante: probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad del buque que pudiera estar establecido individualmente para la permanencia del buque en el atraque. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Variabes principales de los agentes climáticos de actuación simultánea independientes entre sí, desfavorables para el modo de fallo analizado: probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad del buque que pudiera estar establecido individualmente para la permanencia del buque en el atraque. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad.</li> <li>Para las variables no principales de los agentes climáticos de actuación simultánea, así como para las variables de los agentes climáticos que pueden considerarse dependientes de otros: cuantil del 85% o del 15% de la función de</li> </ul>

**Valores representativos de las componentes medias de las cargas de amarre utilizando modelos matemáticos analíticos para su determinación (Para la verificación de estados límite últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo) (continuación)**

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico 6) (CT3,2)	<ul style="list-style-type: none"><li>Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante : cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable.</li><li>En esta condición de trabajo no se considerará la actuación de agentes operativos sobre el buque amarrado.</li></ul> <p>Las direcciones de actuación consideradas de cada una de las variables serán las compatibles con el estado meteorológico de proyecto en estas condiciones excepcionales.</p>	<p>distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>En esta condición de trabajo no se considerará la actuación de agentes operativos sobre el buque amarrado.</li></ul> <p>Las direcciones de actuación consideradas de cada una de las variables serán las compatibles con el estado meteorológico de proyecto en estas condiciones excepcionales.</p>
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CUASI-PERMANENTE	
Condiciones de Trabajo Extremas y Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	<p>El mayor valor cuasi-permanente de la componente media de la carga de amarre, en el elemento de amarre considerado, entre los correspondientes a cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos. Siendo el valor cuasi-permanente de la carga de amarre en cada uno de los buques y situaciones de carga el obtenido a partir de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque en el estado excepcional analizado, considerando como valores representativos de las variables actuantes los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Variables principales de los agentes climáticos de actuación simultánea independientes entre sí, desfavorables para el modo de fallo analizado: probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad del buque que pudiera estar establecido individualmente para la permanencia del buque en el atraque. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad.</li><li>Para las variables no principales de los agentes climáticos de actuación simultánea, así como para las variables de los agentes climáticos que pueden considerarse dependientes de otros: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable.</li><li>En esta condición de trabajo no se considerará la actuación de agentes operativos sobre el buque amarrado.</li></ul> <p>Las direcciones de actuación consideradas de cada una de las variables serán las compatibles con el estado meteorológico de proyecto en estas condiciones excepcionales.</p>	
<b>Notas</b>		
<p>1) Para la determinación de las cargas de amarre procedentes de atraques contiguos se considerará la flota esperable en el citado atraque, en las situaciones límite de carga de los buques en dicho atraque.</p> <p>2) Independientemente de la consideración de cargas de amarre debidas a la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante la maniobra de atraque en condiciones de trabajo correspondiente al estado límite de operaciones de atraque, cuando un punto de amarre pueda recibir este tipo de líneas de amarre deberá también verificarse para la carga última de las líneas de amarre utilizadas a estos efectos por todos y cada uno de los buques esperables en el atraque.</p> <p>3) Únicamente se considerará la actuación de cargas de amarre en condiciones extremas cuando el agente atmosférico o climático marino predominante para la definición del estado de proyecto en condiciones extremas más desfavorable para el modo de fallo analizado no es causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque.</p> <p>4) Para probabilidades de fallo mayores del 5%, se adoptará el valor que corresponde a una probabilidad de excedencia en la fase de proyecto igual a la probabilidad de fallo considerada.</p> <p>5) Únicamente se considerará la actuación de cargas de amarre en condiciones excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario cuando dicho agente no es causa de limitación de la permanencia de alguno de los buques esperables en el atraque y es el agente predominante para el modo de fallo considerado en condiciones extremas.</p> <p>6) El valor de compatibilidad de las cargas de amarre en condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico será el valor frecuente o el cuasi-permanente, en función de que el agente variable predominante en dicha condición de trabajo para el modo de fallo analizado sea o no un agente climático y, en el caso de que lo sea, de que sea o no desfavorable para la determinación de las cargas de amarre actuantes en dicha condición de trabajo.</p>		

### ■ Para la verificación de modos de parada operativa

El agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada correspondiente a la suspensión de la permanencia del buque en el atraque es el agente “cargas de amarre ( $q_{v,46}$ )”.

Una vez definidos, en magnitud y dirección, los valores umbral de las variables de los agentes atmosféricos y climáticos marinos y de los agentes operativos que limitan la permanencia en el atraque de cada uno de los buques esperables en el mismo, tomando en consideración todas las causas de suspensión de acuerdo con lo dispuesto en este apartado, la probabilidad de parada se obtendrá calculando la probabilidad absoluta de excedencia en el emplazamiento en el año medio de los valores umbrales de operatividad más restrictivos de dichas variables en cada una de las direcciones tomando en consideración todos los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque.

La probabilidad de parada por dicha causa será la suma de las probabilidades absolutas de excedencia en el año medio de los umbrales de operatividad en cada dirección correspondientes a cada una de las variables predominantes independientes entre sí que limitan la permanencia del buque en el atraque, así como de las probabilidades de excedencia del valor umbral de operatividad adoptado para cada una de las variables dependientes en cada dirección, obtenidas considerando los regímenes medios de las mismas condicionados a la no superación del valor umbral en cada dirección de la variable de la que dependen.

En el caso de que varias variables que limitan la operatividad sean dependientes entre sí se adoptará como predominante aquélla que considerando los umbrales de operatividad en todas las direcciones tiene mayor probabilidad de excedencia en el emplazamiento.

Es decir:

$P_{\text{parada por suspensión de la permanencia del buque en el atraque}} \leq P_{\text{excedencia valores umbrales operatividad variable independiente 1}} + \dots + P_{\text{excedencia valores umbrales operatividad variable independiente n}} + P_{\text{excedencia valores umbrales operatividad variable dependiente 1 condicionada a la no superación de los valores umbrales de operatividad de la variable de la que depende}} + \dots + P_{\text{excedencia valores umbrales operatividad variable dependiente j condicionada a la no superación de los valores umbrales de operatividad de la variable de la que depende}}.$

Con carácter general, considerando la componente direccional:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{parada por suspensión de la permanencia del buque de atraque}} &\leq \sum_{i=1}^N \left\{ \left[ 1 - P'(X_{10,i}) \right] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \\
 &+ \dots + \sum_{i=1}^N \left\{ \left[ 1 - P'(X_{n0,i}) \right] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \left\{ \left[ 1 - P''_{X_j,0,k}(Y_{1]_{X_j},0,i}) \right] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \\
 &+ \dots + \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \left\{ \left[ 1 - P''_{X_j,0,k}(Y_{r]_{X_j},0,i}) \right] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \dots + \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \left\{ \left[ 1 - P''_{X_i,0,k}(Y_{1]_{X_i},0,i}) \right] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \\
 &+ \dots + \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \left\{ \left[ 1 - P''_{X_i,0,k}(Y_{u]_{X_i},0,i}) \right] \cdot f(\alpha_i) \right\}
 \end{aligned}$$

Siendo:

$X_{10,i}$  : umbral de operatividad de la variable independiente 1, correspondiente al sector direccional  $i$ .  
 $X_{n0,i}$  : umbral de operatividad de la variable independiente  $n$ , correspondiente al sector direccional  $i$ .  
 $P'(X_{10,i})$  : probabilidad condicional de no excedencia del umbral de operatividad de la variable independiente  $X_1$ , correspondiente al sector direccional  $i$  (equivalente a la obtenida en el régimen medio direccional marginal de la variable).



$P'(X_{n0,i})$	: probabilidad condicional de no excedencia del umbral de operatividad de la variable independiente $X_n$ , correspondiente al sector direccional $i$ (equivale a la obtenida en el régimen medio direccional de la variable).
$f(\alpha_i)$	: probabilidad de presentación del sector direccional $i$ .
$Y_{1 X_j0,i}$	: umbral de operatividad de la variable dependiente 1 de la variable independiente $X_j$ , correspondiente al sector direccional $i$ .
$Y_{r X_j0,i}$	: umbral de operatividad de la variable dependiente $r$ de la variable independiente $X_j$ , correspondiente al sector direccional $i$ .
$Y_{1 X_t0,i}$	: umbral de operatividad de la variable dependiente 1 de la variable independiente $X_t$ , correspondiente al sector direccional $i$ .
$Y_{r X_t0,i}$	: umbral de operatividad de la variable dependiente $r$ de la variable independiente $X_t$ , correspondiente al sector direccional $i$ .
$P''_{X_j0,k}(Y_{1 X_j0,i})$	: probabilidad de no excedencia del umbral de operatividad de la variable dependiente 1 de la variable $X_j$ , correspondiente al sector direccional $i$ , condicionada a la no superación del valor umbral de operatividad de la variable independiente $X_j$ en la dirección $k$ . (135)
$P''_{X_j0,k}(Y_{r X_j0,i})$	: probabilidad de no excedencia del umbral de operatividad de la variable dependiente $r$ de la variable $X_j$ , correspondiente al sector direccional $i$ , condicionada a la no superación del valor umbral de operatividad de la variable independiente $X_j$ en la dirección $k$ .
$P''_{X_t0,k}(Y_{1 X_j0,i})$	: probabilidad de no excedencia del umbral de operatividad de la variable dependiente 1 de la variable $X_t$ , correspondiente al sector direccional $i$ , condicionada a la no superación del valor umbral de operatividad de la variable independiente $X_t$ en la dirección $k$ .
$P''_{X_t0,k}(Y_{u X_j0,i})$	: probabilidad de no excedencia del umbral de operatividad de la variable dependiente $u$ de la variable $X_t$ , correspondiente al sector direccional $i$ , condicionada a la no superación del valor umbral de operatividad de la variable independiente $X_t$ en la dirección $k$ .

En el caso de que pueda considerarse o que, del lado de la seguridad, se considere que todas las variables que limitan la operatividad son independientes entre sí, la formulación anterior se simplifica:

$$P_{\text{parada por suspensión de la permanencia del buque en el atraque}} \leq \sum_{i=1}^N \left\{ [1 - P'(X_{10,i})] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \dots + \sum_{i=1}^N \left\{ [1 - P'(X_{n0,i})] \cdot f(\alpha_i) \right\}$$

Si adicionalmente, los valores umbrales de las variables que limitan la permanencia del buque en el atraque no se diferencian según sectores direccionales:

$$P_{\text{parada por suspensión de la permanencia del buque en el atraque}} \leq [1 - P(X_{10})] + \dots + [1 - P(X_{n0})]$$

Siendo  $P(X_{n0})$  la probabilidad de no excedencia del nivel  $X_{n0}$ , obtenida del régimen medio escalar de la variable  $X_n$ .

En el caso de que los valores de operatividad obtenidos no cumplieran con los niveles de operatividad mínimos requeridos inicialmente, deberá modificarse la configuración y características adoptadas inicialmente para el sistema de amarre y defensas, debiéndose obtener los nuevos valores umbrales de operatividad de cada una de las variables actuales asociados con dicha nueva configuración, reiterándose el proceso hasta alcanzar los

(135) Las probabilidades de no excedencia del valor umbral de una variable dependiente, condicionadas a la no superación de un valor de la variable de la que dependen, puede obtenerse fácilmente a partir de la función de densidad conjunta de las variables dependientes entre sí.



niveles de operatividad requeridos. En algunos emplazamientos, los objetivos de operatividad establecidos inicialmente pueden no ser alcanzables por mucho que se modifique la configuración y características del sistema de amarre y defensas. En estos casos deberán reducirse los niveles de operatividad respecto de los establecidos inicialmente, siempre y cuando cumplan con los niveles mínimos exigidos para la instalación de atraque por esta Recomendación.

a<sub>52</sub>) Para formulaciones probabilistas

Para la verificación mediante formulaciones probabilistas de modos de fallo últimos o de servicio en los que intervengan únicamente las cargas de amarre con otros factores directamente correlacionados con las mismas o éstas conjuntamente con otros factores independientes de las mismas o de los agentes de los que dependen, la función de distribución de las componentes medias de las cargas de amarre en un elemento del sistema de amarre en cada ciclo de solicitud puede definirse como una función derivada de:

- La función de densidad del parámetro principal que caracteriza la flota de buques esperable en el atraque, así como las funciones de distribución de los distintos parámetros geométricos del buque (áreas transversal y longitudinal emergidas y sumergidas, eslora, calado, ...) condicionadas a cada valor del parámetro principal, para las situaciones límite de carga del mismo (Ver apartado 4.6.4.4.1) <sup>(136)</sup>.
- Las funciones de distribución de las distintas variables de los agentes actuantes sobre el buque amarrado en el emplazamiento en el ciclo de solicitud considerado.
- Los valores nominales de los parámetros que definen la configuración y características del sistema de amarre y defensas para cada buque, cuando no dependen de alguno de los agentes actuantes.
- La relación entre los valores de los parámetros que definen la configuración y características del sistema de amarre y defensas y el valor de los agentes actuantes cuando dependen de ellos.

Dicha función derivada se obtiene por medio del ajuste de una función de distribución a los resultados generados al aplicar a cada conjunto de valores obtenidos de forma aleatoria (p.e. mediante el método de Monte Carlo), las relaciones funcionales que relacionan, mediante la aplicación de los modelos matemáticos analíticos:

- el valor de las variables que caracterizan un agente con la fuerza resultante del mismo sobre cada buque de la flota esperable en el atraque.
- la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque con las cargas de amarre en el elemento del sistema de amarre considerado.

Con carácter general, cada una de las variables principales de los agentes actuantes independientes entre sí se definen mediante las funciones de distribución conjunta (magnitud/dirección) en el ciclo de solicitud considerado o mediante las funciones de distribución marginales en dicho ciclo únicamente de la magnitud, cuando la dirección de actuación no sea un parámetro que caracterice al agente o cuando la dirección de actuación del mismo tenga el carácter de permanente (Ver ROM 1.0-09).

Así mismo, cada una de las variables dependientes de las anteriores se definirá por medio de las funciones de distribución, marginales de la magnitud o conjuntas magnitud/dirección, condicionadas a cada valor y, en su caso dirección, de la variable principal de la que dependen.

(136) Simplificadamente, es admisible que los parámetros geométricos del buque asociados a cada valor del parámetro principal se definan a través de valores nominales, siempre que pueda considerarse como población todos los buques existentes en el mercado correspondientes a una tipología. Estos valores nominales pueden obtenerse para cada tipología de buque a partir de los datos incluidos en la tabla 4.6.4.33.

Dichas funciones de distribución estarán truncadas, en su caso, por el valor umbral límite de operatividad correspondiente al buque considerado definido para la variable en cada dirección en el ciclo de operatividad considerado.

Para el ciclo de solicitud correspondiente a condiciones de trabajo operativas de permanencia del buque en el atraque, las funciones de distribución de las variables principales de los agentes independientes entre sí pueden derivarse de las funciones de densidad de los sectores direccionales (frecuencia de presentación de la variable en los distintos sectores direccionales) y de los regímenes medios marginales direccionales, truncados, en su caso, por el valor umbral límite de operatividad en dicha dirección de la variable definido para la permanencia del buque considerado en el atraque <sup>(137)</sup>. En el caso de que no se disponga de regímenes medios direccionales, la distribución conjunta magnitud/dirección podrá obtenerse según lo dispuesto en los apartados 3.7.1.8 a 3.7.1.10 de la ROM 1.0-09.

Para el ciclo de solicitud correspondiente a condiciones de trabajo operativas de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque o de operaciones de atraque será de aplicación lo señalado en el párrafo anterior, considerando en este caso que el truncamiento de las funciones de distribución se produce, en su caso, por los valores umbral límite de operatividad de las respectivas variables definidos para la realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque o para la realización de las operaciones de atraque, respectivamente, en el buque considerado.

Para el ciclo de solicitud correspondiente a condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de una variable climática extraordinaria, las funciones de distribución de las variables principales en una determinada dirección que no son causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque pueden derivarse de los regímenes extremos marginales direccionales y de la frecuencia de presentación de la variable en los distintos sectores direccionales, considerando únicamente las excedencias de los valores umbrales de la variable que definen las condiciones extremas <sup>(138)</sup>. En el caso de que no se disponga de regímenes extremos direccionales, la distribución conjunta magnitud/dirección en condiciones extremas podrá obtenerse según lo dispuesto en la ROM 1.0-09. El resto de variables principales de los agentes actuantes independientes se definirán del mismo modo, pero truncadas, en su caso, por el valor umbral límite de operatividad definido en cada dirección para la permanencia del buque considerado en el atraque.

Para los ciclos de solicitud correspondientes a condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental o sísmica, las funciones de distribución de las variables principales de los agentes actuantes independientes entre sí pueden derivarse de las funciones de densidad de los sectores direccionales y de los regímenes medios marginales direccionales, truncados, en su caso, por el umbral límite de operatividad en dicha dirección de la variable definido para la permanencia del buque considerado en el atraque.

Para la verificación mediante formulaciones probabilistas de modos de fallo últimos o de servicio en los que intervengan conjuntamente con las cargas de amarre otros factores (p.e. cargas de manipulación de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros) dependientes de alguno de los agentes de los que éstas dependen (particularmente del buque, de los agentes climáticos, así como de algunos agentes operativos que actúan sobre el buque), con

(137)  $P[X > X_i, \alpha_j] = f(\alpha_j) \cdot P[X > X_i | \alpha_j]$ , siendo  $P[X > X_i | \alpha_j]$  el régimen medio direccional, definido en términos de probabilidad de excedencia, correspondiente al sector direccional  $\alpha_j$  (función de supervivencia direccional en el año medio y  $f(\alpha_j)$  la frecuencia de presentación de dicho sector direccional (Ver ROM 1.0-09).

(138)  $P[X > X_i, \alpha_j] = f(\alpha) \cdot P[X > X_i | \alpha_j]$ , siendo  $P[X > X_i | \alpha_j]$  el régimen extremal direccional, definido en términos de probabilidad de excedencia, correspondiente al sector direccional  $\alpha_j$  y  $f(\alpha_j)$  la frecuencia de presentación de dicho sector direccional considerando únicamente las excedencias de los valores umbrales de la variable que definen las condiciones extremas (Ver ROM 1.0-09).

el objeto de considerar valores compatibles de todos los factores que intervienen en el proceso de verificación no se utilizará la función de distribución de las cargas de amarre definida en los párrafos anteriores sino las funciones de distribución de los agentes de los que dependen correspondientes a cada condición de trabajo, aplicando posteriormente las relaciones funcionales que relacionan, mediante la aplicación de los modelos matemáticos analíticos, el valor de las variables que caracterizan los agentes de los que dependen con la fuerza resultante del mismo sobre los buques, así como dicha resultante con las cargas de amarre en el elemento del sistema de amarre considerado.

Un ejemplo de aplicación es cuando un punto de amarre pueda recibir cargas de amarre de atraques contiguos, en los que no se utilizará la función de distribución de las cargas de amarre en dicho punto sino que se partirá de las funciones de distribución de los agentes de los que dependen y de las funciones de densidad que caracterizan la flota de buques esperable en cada uno de los atraques.

Para la verificación mediante formulaciones probabilistas del modo de parada operativa correspondiente a la suspensión de la permanencia del buque en el atraque se utilizarán las funciones de densidad conjunta en el emplazamiento correspondientes a las variables en las cuales se han definido umbrales límite de operatividad para dicho modo de parada, considerando todos los buques y situaciones de carga de los mismos esperables en el atraque. Esta función de densidad puede obtenerse por multiplicación de las funciones de densidad de cada grupo de variables dependientes. Cada uno de estas funciones de densidad puede obtenerse a partir de funciones de densidad marginales de una de las variables, considerada como principal, y de las funciones de densidad de las variables dependientes de ésta, condicionadas a cada valor de la variable principal (Ver apartado 3.7.1.8 de la ROM 1.0-09).

Es decir, para cada variable  $i$  considerada como principal:

$$f[(X_i, \alpha_i), (X_{1,i}, \alpha_1), \dots, (X_{n,i}, \alpha_n)] = f[X_i, \alpha_i] \cdot [(X_{1,i}, \alpha_1) | (X_i, \alpha_i)] \cdot \dots \cdot f[(X_{n,i}, \alpha_n) | (X_i, \alpha_i)] = f[\alpha_i] \cdot f[X_i | \alpha_i] \cdot f[(X_{1,i}, \alpha_1) | (X_i, \alpha_i)] \cdot \dots \cdot f[(X_{n,i}, \alpha_n) | (X_i, \alpha_i)]$$

La función de densidad conjunta será:

$$\prod_{i=1}^n f[(X_i, \alpha_i), (X_{1,i}, \alpha_1), \dots, (X_{n,i}, \alpha_n)]$$

Se recomienda adoptar como variable principal de cada grupo aquella que más condiciona la operatividad; es decir, aquella que considerando los valores umbrales de operatividad en todas las direcciones tiene una mayor probabilidad de excedencia.

En el caso de que pueda considerarse que todas las variables que limitan la operatividad son independientes entre sí, la función de densidad conjunta se simplifica:

$$f[(X_1, \alpha_1), (X_2, \alpha_2), \dots, (X_s, \alpha_s)] = \prod_{k=1}^s f(X_k, \alpha_k) = \prod_{k=1}^s f[\alpha_k] \cdot f[X_k | \alpha_k]$$

La probabilidad de parada se obtendrá integrando la función de densidad conjunta en el dominio de fallo definido por los valores umbrales de las variables establecidos para la permanencia de la flota de buques en el atraque.

## b) Modelos numéricos

Los avances que se han producido en los últimos años en las técnicas y equipos de computación han permitido un tratamiento matemático más completo y riguroso del comportamiento dinámico de un

buque amarrado, permitiendo superar las limitaciones y restricciones asociadas con las hipótesis de partida (p.e. movimientos del buque reducidos) y la falta de fiabilidad de los modelos analíticos, particularmente en aquellos casos en los que las fuerzas resultantes de la actuación de los agentes exteriores sobre el buque presentan componentes frecuenciales significativas con periodos del mismo orden de magnitud que los periodos naturales de oscilación del buque amarrado <sup>(139)</sup>. Es decir, particularmente en todos aquellos casos en los que puedan presentarse en el emplazamiento estados de mar, ondas largas o efectos hidrodinámicos generados por buques en tránsito, e incluso estados de viento y corrientes, significativos en relación con el tamaño del buque, independientemente de la configuración física del sistema de amarre, así como en amarraderos de orientación libre o fija o cuando la estructura de atraque sea flotante.

En comparación con los modelos analíticos, los modelos numéricos permiten integrar en el análisis simultáneamente todos los efectos que inciden en la valoración de movimientos de los buques y de las cargas de amarre, incluyendo aquéllos que no pueden abordarse con las formulaciones analíticas disponibles (p.e. efectos de la irregularidad de las variables, de las ondas largas, los efectos de 2º orden, existencia de acoplamientos entre los distintos movimientos...), tomando en consideración las posibles interacciones mutuas entre ellos. Además, con este tipo de modelos se obtienen tanto los movimientos horizontales como verticales totales del buque (componente media + componente de fluctuación) y no únicamente los movimientos horizontales debidos a las componentes medias de los agentes actuantes sobre el buque, lo que permite valorar de forma mucho más precisa los niveles de operatividad de la instalación de atraque.

Por otra parte, este tipo de modelos matemáticos permite obtener de forma directa y con mucha mayor precisión los máximos movimientos, calados dinámicos y cargas de amarre en los distintos elementos que forman el sistema de amarre, que pueden presentarse en un estado meteorológico u operativo, sin necesidad de tener que estimarlos mediante coeficientes de mayoración empíricos a partir de las componentes medias ni de aceptar como hipótesis previa que la respuesta del buque amarrado y, por tanto, los calados dinámicos y las cargas de amarre son función únicamente de las componentes medias de las fuerzas exteriores sino también de todas las componentes frecuenciales significativas presentes en las mismas, así como de otros efectos de 2º orden.

Se han desarrollado dos tipos de modelos matemáticos numéricos para el análisis del comportamiento del buque amarrado: los realizados en el dominio de la frecuencia y los realizados en el dominio del tiempo.

Los modelos numéricos en el dominio de la frecuencia están basados en considerar que el buque amarrado es un sistema lineal caracterizado por los factores de masa, rigidez y amortiguamiento. El comportamiento del mismo puede determinarse mediante la resolución de un conjunto de ecuaciones de la siguiente forma, para cada uno de los seis grados de libertad del buque y cada una de las componentes frecuenciales de las fuerzas forzadoras exteriores actuando sobre el buque en la dirección del movimiento considerado:

$$[M + \alpha(w)] \cdot \frac{\partial^2 x(t)}{\partial t^2} + c(w) \cdot \frac{\partial x(t)}{\partial t} + k \cdot x(t) = R(t)$$

siendo:

$M$  : masa del buque.

$\alpha(w)$  : coeficiente de masa hidrodinámica, función de la frecuencia del movimiento considerado del buque.

$c(w)$  : coeficiente de amortiguamiento, función de la frecuencia del movimiento del buque.

$k$  : coeficiente de rigidez del sistema, tomando en consideración tanto las fuerzas de restauración hidroestáticas como las debidas al sistema de amarre debidamente linealizadas.

(139) Los órdenes de magnitud de los periodos naturales de oscilación del conjunto buque/sistema de amarre se consignan en las tablas 4.6.4.50 a 4.6.4.57, para cada configuración física del atraque y disposición tipo y características del sistema de amarre.

- $R(t)$  : componente frecuencial de las fuerzas forzadoras sobre el buque en la dirección del movimiento considerado. La función de densidad espectral de las fuerzas forzadoras correspondiente a cada agente actuante (oleaje, viento, ...) puede obtenerse acoplando modelos numéricos que correlacionen el agente actuante con la fuerza forzadora generada sobre el buque (p.e. modelos de integración de presiones sobre el buque que consideran la reflexión, difracción y radiación del oleaje por la interacción con un flotador amarrado, así como otros efectos debidos a la profundidad en el emplazamiento (Modelos de difracción. Ver ROM I.0), modelos de cargas de viento (Ver ROM 0.4-95), ...).
- $x(t)$  : desplazamiento del buque, correspondiente al movimiento considerado.

Para cada componente frecuencial de la fuerza forzadora la respuesta del buque es también senoidal de igual frecuencia. Considerando todas las componentes se puede obtener la función de densidad espectral de los movimientos del buque y, en función de éstas, las correspondientes a las cargas de amarre.

Los modelos en el dominio del tiempo están basados en la resolución numérica de ecuaciones del tipo siguiente, para cada uno de los seis grados de libertad del buque:

$$(M + m') \cdot \frac{\partial^2 x(t)}{\partial t^2} + \int_{-\infty}^t C(t - \tau) \cdot \frac{\partial x(\tau)}{\partial \tau} \cdot d\tau + K \cdot x(t) = R(t)$$

siendo:

$m'$  y  $C$  : representan las fuerzas hidrodinámicas sobre el buque en la dirección del movimiento considerado, para un movimiento arbitrario del mismo y, por tanto, independientes de la frecuencia del movimiento.

Se definen a partir de los coeficientes hidrodinámicos del buque (coeficientes de masa añadida  $[\alpha(w)]$  y coeficientes de amortiguamiento  $[c(w)]$ ) como:

$$C(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} c(w) \cdot \cos wt \cdot dw$$

$$m' = \alpha(w) + \frac{1}{w} \int_0^{\infty} C(t) \cdot \sin wt \cdot dt$$

- $K$  : representa la rigidez del sistema en la dirección del movimiento considerado, incluyendo tanto las fuerzas de restauración hidroestáticas como las debidas al sistema de amarre y defensas.
- $R(t)$  : componente de la resultante de las fuerzas exteriores forzadoras de cualquier tipo actuando sobre el buque en la dirección del movimiento considerado.

Aunque son más simples y requieren un menor esfuerzo computacional, los modelos numéricos realizados en el dominio de la frecuencia son más limitativos que los realizados en el dominio del tiempo al ser estacionarios, exigir su aplicación que se produzcan desplazamientos reducidos y no tomar en consideración no linealidades en los agentes externos forzadores y comportamientos no lineales de los elementos de amarre y defensas (curvas de comportamiento no lineales), pudiendo dar lugar, en algunos casos, a resultados erróneos particularmente cuando el buque amarrado presenta movimientos significativos o tiene un comportamiento básicamente no lineal (p.e. en este caso pueden presentarse movimientos subarmónicos relevantes de frecuencias diferentes a las presentes en las fuerzas forzadoras), cuando son relevantes ciertos efectos de carácter no lineal que no son simulados por este tipo de modelos (p.e. fuerzas de deriva del oleaje, fuerzas debidas a la onda larga asociada al oleaje, ...) o cuando se presentan fenómenos transitorios como paso de buques, rotura de amarras, ... En algunas tipologías de atraque (p.e. en amarraderos de orientación libre o fija) estos efectos no lineales pueden ser los más relevantes a los efectos del movimiento del buque y de las cargas de amarre. Estas deficiencias son superadas por los modelos numéricos en el dominio del tiempo.

Como en general el comportamiento del buque amarrado es no lineal y además por su mayor versatilidad con respecto a las fuerzas forzadoras actuantes, con carácter general se recomienda preferentemente la utilización de modelos numéricos realizados en el dominio del tiempo.

En la actualidad hay disponibles comercialmente en el mercado modelos numéricos realizados en el dominio del tiempo, fiables y seriamente verificados, que permiten simular la respuesta del buque amarrado tomando en consideración conjuntamente todos los efectos que tienen incidencia en su comportamiento frente a los agentes actuantes sobre el mismo. Estos modelos suelen además llevar integrados otros modelos que permiten correlacionar los distintos agentes actuantes en las proximidades del puesto de atraque, definidos en la entrada de datos mediante una serie temporal o su definición espectral (oleaje, viento, corrientes, ondas largas, efectos de paso de buques, ...), con la descripción temporal o espectral de las fuerzas sobre el buque a que dan lugar, tomando en consideración, en su caso, las transformaciones y efectos locales que se producen en los mismos por las características y condiciones de contorno en el emplazamiento, incluyendo los debidos al movimiento del propio buque.

Por tanto, la aplicación de modelos numéricos se considera como muy conveniente y obligada en aquellos casos que excedan del rango de validez de los modelos analíticos y no se puedan aplicar modelos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados por ausencia de datos, o se considere necesario analizar los movimientos de los buques y las cargas de amarre en situaciones de emergencia (p.e. rotura de amarras o auxilio de remolcadores para mantener el buque en el atraque), las cuales no son modelizables de forma fiable mediante la aplicación de otro tipo de modelos. Asimismo es conveniente su aplicación previamente a la utilización de modelos experimentales, con el objeto de contrastar los resultados obtenidos en ambos tipos de modelos y complementar las limitaciones asociadas con cada uno de ellos. Particularmente debe hacerse cuando sea recomendable la utilización de modelos experimentales por no considerarse totalmente fiables los numéricos utilizados debido, por ejemplo, a que los modelos de correlación entre agentes actuantes y fuerzas forzadoras que lleva incorporados el modelo numérico no son capaces ni de introducir ni de reproducir correctamente los efectos causados por las condiciones morfológicas y de contorno existentes en el emplazamiento (p.e. batimetrías muy irregulares o peraltadas en la zona del atraque, condiciones de contorno complejas, resguardos bajo quilla muy limitados menores del 10% del calado del atraque, estructuras de atraque discontinuas o parcialmente reflejantes, ...).

Los modelos numéricos permiten obtener como resultado los registros completos de los movimientos del buque, así como de las cargas en líneas de amarre y defensas, asociados con los estados meteorológicos y operativos considerados, introducidos en el modelo a través de las descripciones espectrales y/o temporales en el emplazamiento de los agentes que actúan simultáneamente. No se considerarán representativos los resultados correspondientes a un estado meteorológico estacionario que no simule un mínimo de tiempo equivalente a 3 horas en prototipo. Cuando deba considerarse un estado operativo transitorio (p.e. consideración de efectos hidrodinámicos inducidos por el paso de buques en tránsito) de actuación simultánea que el estado meteorológico pero de menor duración que el mismo, deberá considerarse la actuación del agente operativo aleatoriamente en diferentes momentos temporales de la simulación (mínimo 3) con el objeto de que pueda analizarse su influencia en la respuesta del buque y del sistema de amarre en diferentes posiciones de equilibrio.

Para cada tipo de buque y situación de carga del mismo, configuración y características del sistema de amarre, y estado meteorológico u operativo considerados, a partir de dichos registros se pueden obtener los siguientes resultados:

- ◆ Series temporales de movimientos (6), de las cargas en líneas de amarras y de las reacciones en las defensas, así como las variables de estado o parámetros estadísticos que las caracterizan [valor medio, valor significativo de los valores máximos secuenciales <sup>(140)</sup> de los movimientos del buque y de las cargas de amarre (también pueden definirse de la amplitud de los movimientos del buque y de la amplitud de las componentes de fluctuación de las cargas de amarre en el caso de que las líneas de amarre se mantengan en tensión, así como en el caso de que las defensas se mantengan comprimidas, en todo momento), valores máximo y mínimo de la serie, valor máximo más probable, periodo medio,...] (Ver figura 4.6.4.38).

(140) Se entiende por valores máximos secuenciales al conjunto formado por el valor máximo en cada periodo o, en su caso, impacto consecutivo (valores en cresta).

- ◆ Funciones de densidad espectral de las amplitudes de los movimientos horizontales (3) y verticales (3) del buque amarrado y de la componente de fluctuación de las cargas en cada línea de amarre y en cada una de las defensas cuando éstas se mantienen en tensión o comprimidas respectivamente en todo momento, así como los parámetros espectrales (valor significativo espectral, periodo de pico, periodos dominantes en el rango de bajas y altas frecuencias, ...) asociados a las mismas (Ver figura 4.6.4.39).

A partir de las series temporales registradas correspondientes al estado meteorológicos u operativo considerado, se adoptarán como valores máximos más probables los correspondientes a la moda (valor más frecuente) de la función de densidad de dichos valores máximos  $[g_{X_{max}}(x)]$  (Ver apartado 3.7.4.1 de la ROM 1.0-09). Es decir:

$$G_{X_{max}}(x) = [F_X(x)]^n$$

$$g_{X_{max}}(x) = n \cdot [F_X(x)]^{n-1} \cdot f_X(x)$$

Siendo:

- $G_{X_{max}}(x)$  : la función de distribución de la variable  $X_{max}$ . (141)
- $f_X(x)$  : la función de densidad de la variable  $X$  ajustada a partir de los datos obtenidos del correspondiente registro, siendo  $X$  los valores máximos secuenciales del movimiento del buque o de la carga en la línea de amarre o defensa considerada (142).
- $F_X(x)$  : la función de distribución de la variable  $X$ . (143)
- $n$  : el tamaño muestral en el ciclo de sollicitación (condición de trabajo) considerado (nº de ciclos de movimientos del buque o nº periodos de las cargas de amarre o, en su caso, nº de impactos en dicho ciclo de sollicitación). Depende de la duración del ciclo de sollicitación considerado ( $\Delta t$ ) y del periodo medio o, en su caso, del tiempo medio entre dos impactos, de la variable  $X$  ( $\bar{T}_X$ ). Es decir,  $n = \Delta t / \bar{T}_X$ .

Para condiciones de trabajo de permanencia del buque en el atraque y de realización de las operaciones de carga y descarga puede considerarse como duración del ciclo de sollicitación la plancha unitaria media del buque (tiempo de permanencia medio del buque en el atraque). Para condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario puede adoptarse como duración del ciclo de sollicitación la duración del temporal (Ver apartado 3.7.3.6.1 de la ROM 1.0-09 sobre formas sintéticas de evolución del temporales asociados con el agente oleaje).

Sin perjuicio de lo anterior para la definición del parámetro  $n$  es admisible considerar con carácter general el número de ciclos presentes en el intervalo de tiempo de 3 horas.

- (141) Tanto para movimientos como para cargas de amarre, algunos autores consideran que la función de distribución de la variable  $X_{max}$  se ajusta razonablemente a la función de distribución de Rayleigh, elevada al número de ciclos  $n$ . Con esta hipótesis, el valor máximo más probable es el correspondiente a la moda de dicha distribución, la cual puede aproximarse mediante la expresión:

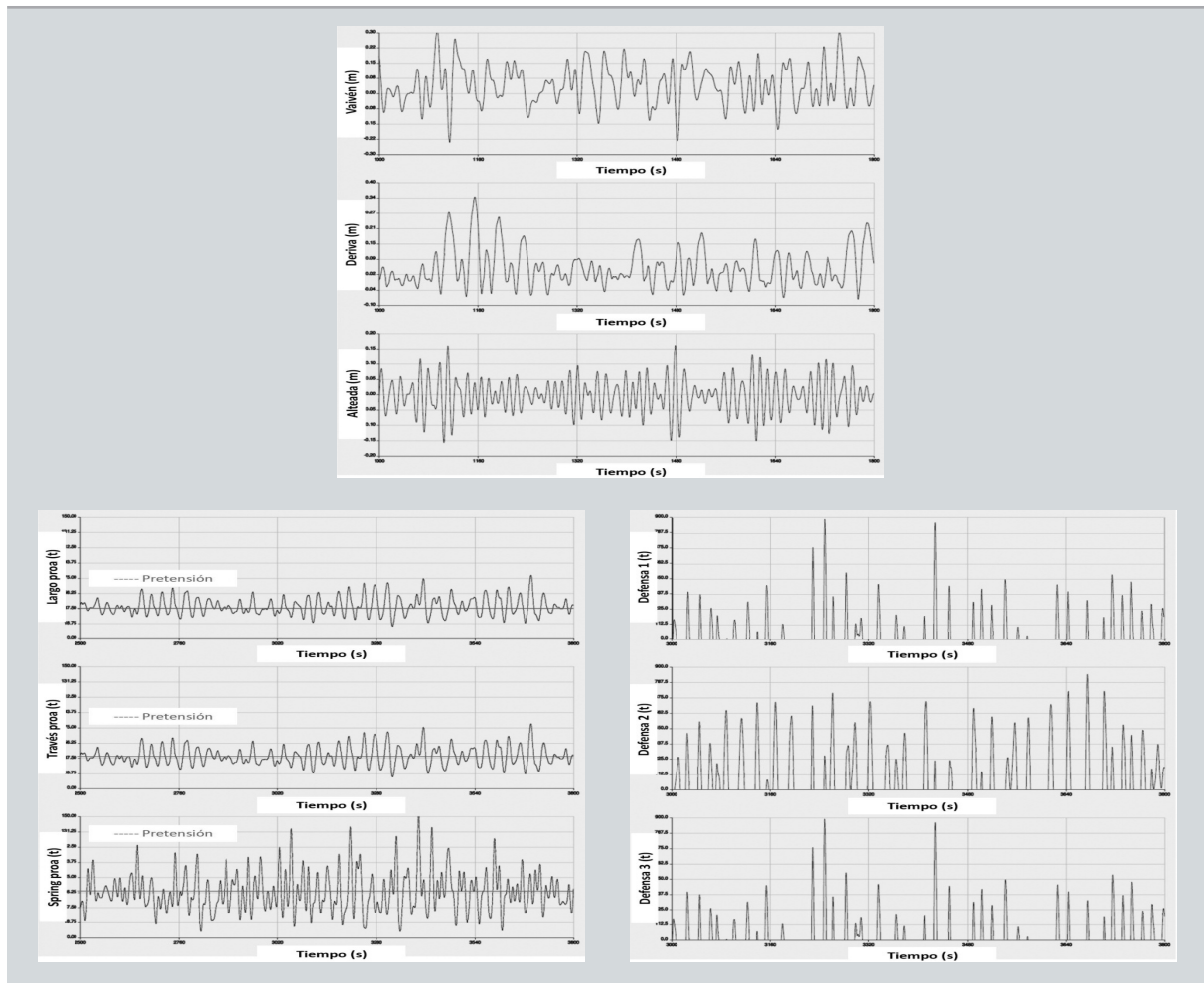
$$\hat{X}_{MAX} \approx 0,076 \cdot \sqrt{\ln(n)} \cdot X_s,$$

siendo  $X_s$  el valor significativo de la variable  $X$ .

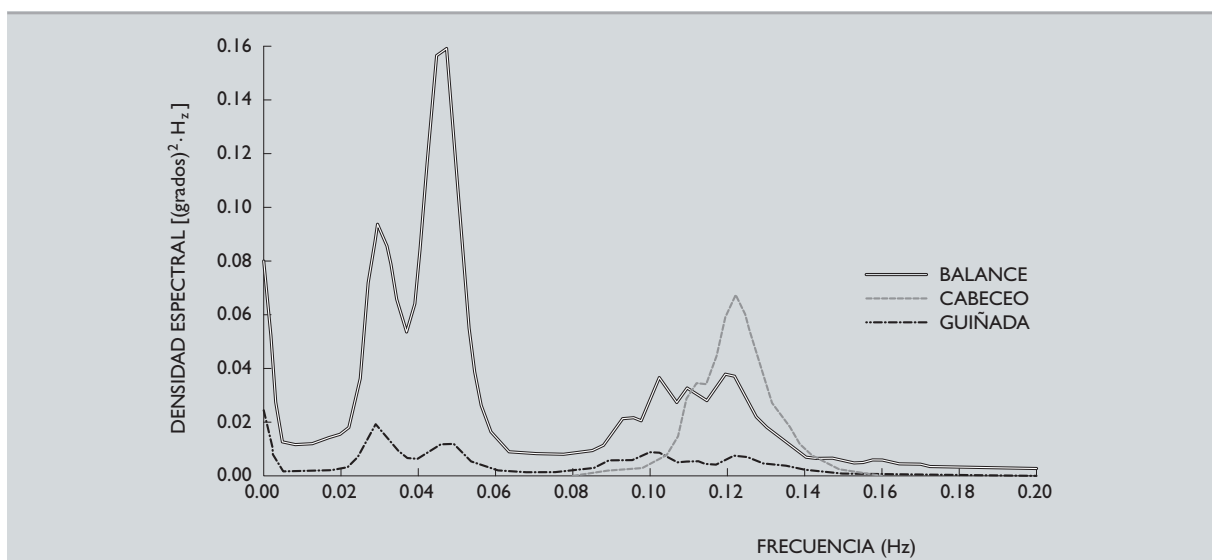
- (142) La obtención de los valores máximos más probables a partir de las series temporales registradas, mediante la metodología señalada, también es aplicable cuando se adopta como variable  $X$  la amplitud de la correspondiente componente de fluctuación (amplitud del movimiento del buque o de la componente de fluctuación de la carga en el caso de que las líneas de amarre o las defensas se mantengan en tensión o comprimidas, respectivamente, en todo momento). En ese caso los valores máximos más probables de movimientos y cargas serán los valores medios más  $\frac{1}{2}$  de la moda de la función de densidad de los valores máximos de la amplitud de dichas componentes de fluctuación.
- (143) Tanto para movimientos como para cargas de amarre, algunos autores consideran que la función de distribución de la variable  $X$  se ajusta razonablemente a la función de distribución de Rayleigh. En la práctica es admisible considerar, simplificada, el siguiente ajuste:  $\log[F_X(x)] = A \cdot X^C + B$ , siendo  $A$  y  $B$  parámetros de ajuste lineal, adoptando los siguientes valores del exponente  $C$ : 1 para movimientos y 2 para cargas.



**Figura 4.6.4.38. Ejemplo de series temporales de movimientos y cargas en líneas de atraque obtenidas mediante la aplicación de modelos numéricos**



**Figura 4.6.4.39. Ejemplo de funciones de densidad espectral de las amplitudes de los movimientos de giro de un buque amarrado, obtenidas mediante modelos numéricos**



## b<sub>1</sub>) Definición de las situaciones a simular en los modelos numéricos

### b<sub>11</sub>) Definición de buques y configuraciones de amarre

Los buques a considerar serán los pertenecientes a la flota esperable en el atraque definida por el Promotor de la instalación, en las situaciones límite de carga consideradas. Como mínimo deberán considerarse para cada tipología diferenciada de buque perteneciente a dicha flota (petrolero, gasero, granelero portacontenedores,...), los buques de mayor y menor desplazamiento máximo incluidos en la misma, en las situaciones límite de carga consideradas. Si el Promotor no define expresamente las condiciones límite de carga se considerarán los buques tanto en situación de plena carga como en lastre.

Para cada uno de los buques y condiciones de carga a tomar en consideración en la simulación, se definirá la configuración y características del sistema de amarre y defensas de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.4.4.7.1.1 de esta Recomendación (Definición de la configuración y características del sistema de amarre y defensas) en cada una de las condiciones de trabajo. Para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario es admisible considerar complementariamente como parte del sistema de amarre el auxilio de remolcadores.

En el primer ciclo de simulaciones, todas los correspondientes a cada buque y condición de carga del mismo en una condición de trabajo se realizarán considerando la misma configuración y características del sistema de amarre y defensas establecidas para dicha condición, sin perjuicio de que, en función de los resultados obtenidos, se realicen nuevos ciclos de simulaciones modificando la configuración o diferenciándola únicamente para determinados estados meteorológicos (p.e. cuando se alcancen estados meteorológicos clasificados como Tipo III a los efectos de la permanencia del buque en el atraque) con el objeto de aumentar las ventanas de operatividad de la instalación, si es posible, hasta los niveles mínimos inicialmente requeridos para dicha condición de trabajo o hasta conseguir los mejores resultados posibles.

### b<sub>12</sub>) Definición de los estados meteorológicos y operativos

Los estados meteorológicos a simular se seleccionarán considerando sucesivamente cada uno de los agentes climáticos actuantes sobre el buque amarrado en el emplazamiento (viento, corrientes, oleaje, niveles de las aguas exteriores, ondas largas, ...) como predominante y cada uno de los parámetros que los definen (p.e. altura de ola, y periodo del oleaje en el caso del agente climático oleaje) como principal. El agente predominante, así como el resto de agentes de actuación simultánea con el mismo (tanto dependientes como independientes del predominante), se definirán a través de sus descripciones estadísticas o espectrales que los caracterizan en el emplazamiento, asociadas a determinados valores de sus parámetros estadísticos o espectrales que se establecen en función de la condición de trabajo considerada.

#### ◆ Para condiciones de trabajo operativas

Los estados meteorológicos a simular para condiciones de trabajo operativas se definirán con el objetivo de averiguar los estados meteorológicos y operativos que limitan la operatividad de cada uno de los buques en la instalación de atraque, para cada una de las condiciones de trabajo operativas en las que puede encontrarse el buque amarrado, considerando todas las causas que pueden dar lugar a cada uno de los modos de parada operativa <sup>(144)</sup>. Para ello se seguirá el siguiente procedimiento metodológico general:

(144) – Para la condición de trabajo operativa correspondiente al estado límite de permanencia del buque en el atraque: ver epígrafe a<sub>4</sub>) del apartado 4.6.4.4.7.1.3.

– Para la condición de trabajo operativa correspondiente al estado límite de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros: ver apartados 4.6.4.2.1 y 4.6.4.2.3, respectivamente.

– Para la condición de trabajo operativa correspondiente al estado límite de operaciones de atraque: ver apartado 4.6.4.4.3.

- Los estados meteorológicos a simular asociados con cada agente climático adoptado como predominante y parámetro principal del mismo adoptado como principal serán los correspondientes a los siguientes cuatro valores de los parámetros estadísticos o espectrales adoptados como principales:

- Probabilidad absoluta de excedencia del 15 %.
- Probabilidad absoluta de excedencia del 5 %.
- Probabilidad absoluta de excedencia del 1 %.
- Probabilidad absoluta de excedencia del 0.1 %.

en el año medio en el emplazamiento, en cada una de las direcciones de actuación en las que, en su caso, pueda presentarse dicho parámetro (Ver nota 41). Como mínimo se diferenciarán cuatro sectores direccionales, dos centrados con la dirección del eje longitudinal del buque y dos con la dirección perpendicular al mismo, considerando, cuando sea relevante, sentidos opuestos. En el caso de que el parámetro principal no tenga componente direccional, los niveles de excedencia se obtendrán directamente en el régimen medio escalar.

- Para cada valor del parámetro principal del agente predominante, se adoptarán como valores del resto de parámetros que definen al mismo, así como para los parámetros del resto de agentes climáticos de actuación simultánea dependientes del agente predominante, los correspondientes a un cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de dicho parámetro, condicionada al valor y, en su caso, dirección adoptados para el parámetro principal del agente predominante, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores del parámetro correlacionado.
- Para los parámetros principales de los agentes climáticos desfavorables simultáneos, independientes del predominante, se adoptarán como valores de compatibilidad los valores cuasi-permanentes del mismo (Ver tablas 4.6.2.2. y 4.6.4.65). En el caso de que el parámetro principal del agente independiente del predominante pueda actuar según varios sectores direccionales, se adoptará como dirección y sentido de actuación del mismo el que pueda dar lugar a los efectos analizados más desfavorables tomando en consideración la dirección de actuación del parámetro principal del agente predominante. Simplificadamente puede adoptarse como dirección y sentido de actuación del mismo el más próximo al adoptado para el parámetro principal del agente predominante. Para el resto de parámetros de dichos agentes se aplicará lo dispuesto en el epígrafe anterior a partir de las funciones de distribución de dichos parámetros condicionadas al valor del parámetro principal.
- Los estados operativos de actuación simultánea con los estados meteorológicos, se simularán considerando como valor de su parámetro principal el asociado a las condiciones límite de explotación de la instalación o a los valores máximos previsibles para el mismo.

#### ■ SIMPLIFICACIONES

El Proyectista podrá reducir los estados meteorológicos y operativos a simular surgidos del procedimiento metodológico general establecido en este epígrafe, en función de las condiciones existentes en el emplazamiento.

Como criterio general podrán eliminarse los estados meteorológicos en los que el valor del parámetro principal del agente adoptado como predominante asociado a una dirección y a un nivel absoluto de excedencia en el emplazamiento de la instalación de atraque se encuentre muy por debajo de los valores umbrales

generales establecidos para cada una de las condiciones operativas en las tablas 3.2.1.3 y 4.6.4.49 de esta Recomendación. No obstante lo anterior, no se eliminará el estado meteorológico asociado a la consideración del nivel de las aguas exteriores como variable predominante como mínimo con el valor asociado a una probabilidad de presentación del 0,1%, con el objeto de verificar que en este estado meteorológico no se produce la suspensión de la permanencia del buque en el atraque por insuficiencia de calado y la paralización de la realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros por rebases de las aguas exteriores o por insuficiencia de alturas de elevación del equipo de manipulación. En el caso de que estos modos de parada se produjeran con este nivel de probabilidad, deberán también considerarse los estados meteorológicos asociados con el resto de probabilidades de presentación del nivel de las aguas exteriores.

- ◆ *Para condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario*

En aquéllos casos en los que, una vez simuladas las condiciones de trabajo operativas, la presentación del parámetro principal del agente climático adoptado como predominante en alguna dirección no sea causa de limitación de la permanencia de alguno de los buques esperables en el atraque, así como en aquellos casos en los que se considere o tenga que considerarse la permanencia de los buques en el atraque en cualquier situación, deberán simularse estados meteorológicos asociados a condiciones de trabajo extremas y excepcionales asociados a dicho parámetro en dicha dirección, considerando únicamente su aplicación a los buques de la flota esperable en el atraque y situaciones de carga de los mismos en los que se produce dicha circunstancia.

Los estados meteorológicos a simular serán como mínimo los correspondientes a los siguientes valores de su parámetro principal:

- Periodo de retorno ( $T_R$ ) de 50 años, obtenido de la distribución de extremos marginal de dicho parámetro en la dirección considerada (para probabilidades de presentación del modo de fallo analizado en condiciones extremas menor o igual al 5%).
- Periodo de retorno ( $T_R$ ) asociado con una probabilidad de presentación igual a la probabilidad de fallo considerada para el modo de fallo analizado, tomado de la distribución de extremos marginal de dicho parámetro en la dirección considerada (para probabilidades de presentación del modo de fallo analizado en condiciones extremas mayor al 5%).

En el caso de que las probabilidades de presentación asignadas a los diferentes modos de fallo analizados no sean las mismas, se simularán estados meteorológicos asociados con periodos de retorno del parámetro principal de 50, 100 y 300 años, siendo también admisible la interpolación lineal entre los valores máximos más probables de las cargas de amarre y movimientos correspondientes a cada simulación.

- Periodo de retorno ( $T_R$ ) de 500 años, obtenido de la distribución de extremos marginal de dicho parámetro en la dirección considerada.

Para el resto de parámetros del agente predominante, así como de los agentes desfavorables de actuación simultánea, tanto dependientes como independientes del predominante, se adoptarán los valores de compatibilidad establecidos para la condición de trabajo considerada (ver tabla 4.6.4.65 y apartados 4.1.1.1.1.a. y b<sub>1</sub>), sin superar, en su caso, el límite de operatividad que pudiera estar establecido individualmente para el correspondiente agente para la permanencia del buque en el atraque.

- ◆ *Para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una situación de emergencia del buque amarrado*

Los estados meteorológicos a considerar para la simulación de situaciones de emergencia serán los mismos que los contemplados para condiciones de trabajo operativas o para condiciones extremas o extraordinarias debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, en función del estado meteorológico en el que se considera que se puede producir la situación de emergencia.

El Promotor de la instalación señalará expresamente las situaciones de emergencia en las que desea verificar la seguridad de los buques y de la instalación de atraque, así como las condiciones de trabajo en las que puede producirse la situación de emergencia. No obstante, en cualquier caso es recomendable considerar como condición de trabajo excepcional las siguientes situaciones de emergencia:

- rotura de la línea de amarre más cargada en condiciones de trabajo operativas y condiciones extremas sin considerar; complementariamente al sistema de amarre definido para dichas condiciones, el auxilio de remolcadores.
- rotura de la línea de amarre más cargada en condiciones de trabajo excepcionales debida a la presentación de un agente climático extraordinario, considerando la configuración y características del sistema de amarre adoptadas para dicha condición de trabajo.

Cuando, como resultado de estas simulaciones, se concluyera la rotura de nuevas líneas de amarre o de defensas, se analizará la posibilidad de que se presenten situaciones de colapso progresivo por rotura sucesiva de las líneas de amarre y defensas. En el caso de que se produjera esta situación en una determinada condición de trabajo, deberá quedar garantizado el abandono de emergencia del buque del puesto de atraque de forma segura en dicha condición de trabajo.

- ◆ *Para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico*

En el caso de que un agente climático sea el agente variable predominante en la condición de trabajo excepcional considerada, los estados meteorológicos a simular serán los asociados con el valor frecuente del parámetro principal de dicho agente. Es decir, los asociados con una probabilidad absoluta de no excedencia del 85% en el año medio, en cada una de las direcciones de actuación en las que pueda presentarse dicho parámetro, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para el buque simulado que pudiera estar establecido individualmente para dicho parámetro en la dirección considerada. En caso de que se superara se adoptará el citado límite de operatividad. Para el resto de parámetros de dicho agente, así como de los agentes climáticos desfavorables de actuación simultánea se adoptarán los valores de compatibilidad establecidos para esta condición de trabajo (ver tabla 4.6.4.65 y apartado 4.1.1.1.1. b<sub>2</sub>).

En el caso de que un agente climático no sea el agente variable predominante en la condición de trabajo excepcional considerada, los estados meteorológicos a simular serán los asociados con el valor cuasi-permanente de los parámetros principales de los agentes climáticos independientes entre sí. Es decir los asociados con una probabilidad absoluta de no excedencia del 50 % en el año medio en la dirección de actuación considerada, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para el buque simulado que pudiera estar establecido individualmente para los mismos en dicha dirección. Para el resto de parámetros de dichos agentes se adoptarán los valores de compatibilidad establecidos para esta condición de trabajo (ver tabla 4.6.4.65 y apartado 4.1.1.1.1. b<sub>2</sub>).

En esta condición de trabajo no se considerará la actuación de agentes operativos.

◆ *En condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica*

Los estados meteorológicos a simular para condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica serán los asociados con el valor cuasi-permanente de los parámetros principales de los agentes climáticos independientes entre sí, definidos de acuerdo con lo señalado en el epígrafe anterior (Ver tabla 4.6.4.65. y apartado 4.1.1.1.1. b<sub>3</sub>).

En esta condición de trabajo tampoco se considerará la actuación de agentes operativos.

**b<sub>2</sub>) Definición de las condiciones límite de operatividad mediante modelos numéricos**

Las condiciones límite de operatividad se obtendrán a partir de los resultados obtenidos por la simulación de cada uno de los estados meteorológicos y operativos definidos para condiciones de trabajo operativas, sobre cada uno de los buques, en las situaciones límite de carga y con las configuraciones de amarre consideradas, a través del siguiente procedimiento sistemático:

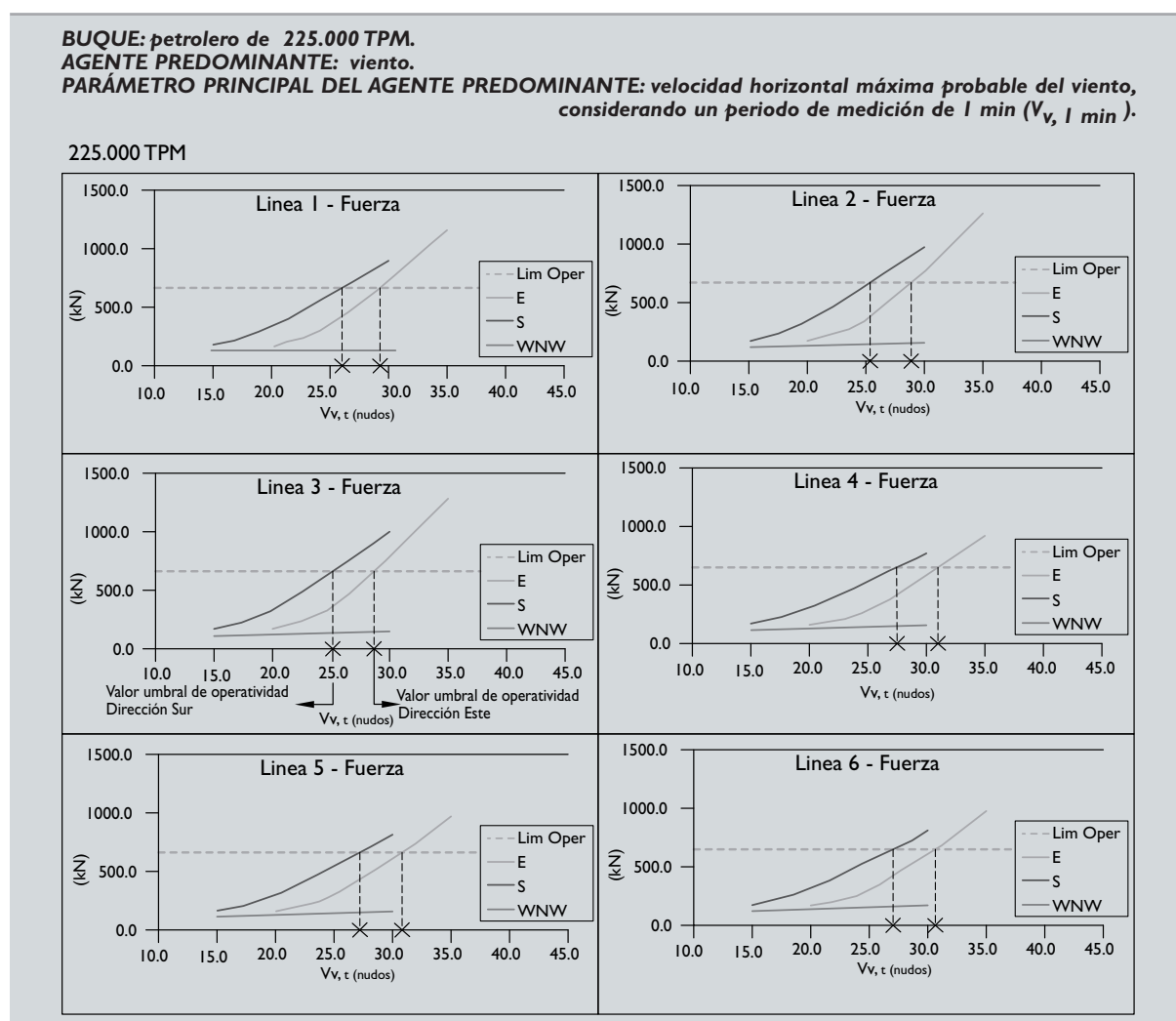
- ◆ Se determinarán los valores máximos más probables de movimientos del buque y cargas de amarre en cada elemento del sistema de amarre correspondientes a cada simulación, de acuerdo con lo dispuesto en este apartado.
- ◆ Para cada buque y situación límite de carga del mismo, a partir del conjunto de simulaciones pertenecientes a una misma condición de trabajo asociadas con un mismo parámetro principal del agente climático u operativo adoptado como predominante actuando en una dirección determinada, se obtendrán las relaciones entre los valores máximos más probables de cada uno de los movimientos del buque y de cada una de las cargas de amarre en líneas de amarre y defensas y el parámetro principal del agente adoptado como predominante. A los efectos de obtención de dichas funciones es admisible la interpolación/extrapolación considerando los valores máximos más probables correspondientes a cada simulación. Dicha interpolación/extrapolación podrá ser lineal, parabólica o de otro tipo en función de su mejor adaptación a los resultados obtenidos. Es recomendable introducir en la interpolación/extrapolación el valor “cero”, sin movimiento pero con pretensión de las líneas de amarre.
- ◆ Para cada buque y situación límite de carga del mismo, así como para cada parámetro principal del agente adoptado como predominante actuando en una dirección determinada, se obtendrá el valor límite de operatividad de dicho parámetro principal en una condición de trabajo operativa como el menor valor resultante de la aplicación de todas las causas de suspensión o paralización asociadas con dicha condición de trabajo a las funciones anteriores. Las causas de suspensión o paralización a considerar para cada condición de trabajo operativa se recogen, respectivamente, en los apartados 4.6.4.2.1, 4.6.4.2.3, 4.6.4.4.3.1.1 y 4.6.4.4.7.1.3.a<sub>4</sub> de esta Recomendación (Ver figura 4.6.4.40).
- ◆ Para cada parámetro principal de cada agente adoptado como predominante actuando en una dirección determinada, el valor límite de operatividad de dicho parámetro principal en una condición de trabajo operativa, a los efectos del cálculo de los niveles de operatividad de la instalación de atraque, será el menor de los valores límites de operatividad obtenidos para dicha condición operativa, considerando todos los buques y situaciones de carga de los mismos que se simulan.
- ◆ Para cada buque y situación límite de carga, el estado meteorológico u operativo límite de operatividad en una condición operativa, correspondiente a un parámetro principal del agente adoptado como predominante actuando en una dirección determinada, será el definido por el valor límite de operatividad para dicho buque de dicho parámetro principal del agente predominante y por los valores de compatibilidad del resto de parámetros del agente predominante, así como

del resto de agentes desfavorables de actuación simultánea, tanto dependientes como independientes del predominante.

- ◆ En el caso de que, en un estado meteorológico u operativo límite de operatividad en una condición operativa asociado con un determinado buque y situación de carga del mismo, el valor de compatibilidad de alguna del resto de variables que definen el agente predominante o el resto de agentes sea superior al límite de operatividad obtenido para la misma en dicha condición de trabajo, se reiterará el proceso una vez redefinidos los estados meteorológicos u operativos a simular de forma que los valores de compatibilidad adoptados para los parámetros no principales del agente predominante y para los parámetros del resto de agentes no superen los límites de operatividad de los mismos para el buque considerado.

Una vez obtenidos los valores umbrales de operatividad de cada uno de los parámetros que definen los agentes climáticos y operativos en la condición de trabajo operativa considerada por medio de esta metodología, la determinación de los niveles de operatividad de la instalación de atraque asociados con dicha condición de trabajo se realizará por medio del procedimiento señalado a efectos para la verificación de modos de parada operativa mediante modelos analíticos en el epígrafe a<sub>51</sub>.

**Figura 4.6.4.40. Ejemplo de obtención de valores límite de operatividad mediante modelos numéricos considerando únicamente la suspensión de la permanencia del buque en el atraque por superación de cargas admisibles en líneas de amarre**





### b<sub>3</sub>) Definición de las cargas de amarre mediante modelos numéricos

#### b<sub>31</sub>) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilista

Para la verificación de modos de fallo últimos o de servicio mediante formulaciones deterministas y deterministas-probabilistas, las cargas de amarre se obtendrán a partir de los resultados obtenidos por la simulación de cada uno de los estados meteorológicos y operativos definidos para cada condición de trabajo, sobre cada uno de los buques, en las situaciones de carga y con las configuraciones de amarre consideradas, a través del siguiente procedimiento sistemático:

- ◆ Se determinarán los valores máximos más probables de las cargas de amarre en cada elemento del sistema de amarre correspondientes a cada simulación, de acuerdo con lo dispuesto en este apartado.
- ◆ Para cada buque y situación límite de carga del mismo, a partir del conjunto de simulaciones correspondientes a una misma condición de trabajo asociadas con un mismo parámetro principal del agente climático u operativo adoptado como predominante actuando en una dirección determinada, se obtendrán las relaciones entre los valores máximos más probables de cada una de las cargas de amarre en líneas de amarre y defensas y el parámetro principal del agente adoptado como predominante. A los efectos de obtención de dichas funciones es admisible la interpolación/extrapolación entre los valores máximos más probables correspondientes a cada simulación. Dicha interpolación/extrapolación podrá ser lineal, parabólica o de otro tipo en función de su mejor adaptación a los resultados obtenidos.
- ◆ Para cada buque y situación de carga del mismo, a partir del conjunto de funciones definidas en el párrafo anterior para cada uno de los parámetros, correspondientes a una misma condición de trabajo, se identificará en cada elemento del sistema de amarre la mayor carga de amarre considerando los siguientes dominios:
  - *Para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque:* el dominio de operatividad para dicha condición de trabajo. Es decir, el dominio definido por los valores inferiores a los umbrales de operatividad establecidos para cada variable, en cada dirección, para la permanencia del buque considerado en el puesto de atraque, de acuerdo con el procedimiento señalado en el epígrafe b<sub>2</sub> de este apartado.
  - *Para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque:* de entre los estados meteorológicos incluidos en el dominio de operatividad para dicha condición de trabajo, es decir el dominio definido por los valores inferiores a los umbrales de operatividad establecidos para cada variable, en cada dirección, para la realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque, se considerarán únicamente los estados meteorológicos compatibles con el definido como representativo de la condición de trabajo operativa correspondiente a la realización de operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque adoptado para dicho buque a los efectos de la determinación de las cargas de manipulación de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros (Ver apartados 4.6.4.2.1 y 4.6.4.2.3).
  - *Para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de operaciones de atraque (para la obtención de cargas de amarre procedentes de atraques contiguos):* el dominio de operatividad para dicha condición de trabajo, aplicado a las funciones definidas para cada uno de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque contiguo, siempre y cuando los umbrales de operatividad correspondientes a la permanencia de los buques en el atraque contiguo sean mayores o iguales que los correspondientes a las operaciones de atraque para el buque analizado en el atraque considerado. Es decir,

en este caso el dominio de operatividad considerado será el definido por los valores inferiores a los umbrales de operatividad establecidos para cada variable, en cada dirección, para la realización de las operaciones de atraque por el buque considerado de la flota esperable en el atraque analizado (Ver apartado 4.6.4.4.3), aunque aplicado a las funciones definidas para los buques esperables en el atraque contiguo.

- *Para condiciones de trabajo extremas:* de entre los estados meteorológicos pertenecientes a la función definida para condiciones extremas y excepcionales debida a la presentación de un agente climático extraordinario, se considerará el valor correspondiente al estado meteorológico definido como representativo de la condición de trabajo extremal adoptada a los efectos de la determinación del resto de cargas de actuación simultánea en dicha condición. Únicamente será de aplicación a los buques en los que el agente climático predominante para la definición del estado de proyecto en condiciones extremas considerado no es causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque.
- *Para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario:* de entre los estados meteorológicos pertenecientes a la función definida para condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, se considerará el valor correspondiente al estado meteorológico definido como representativo de la condición de trabajo excepcional adoptada a los efectos de la determinación del resto de cargas de actuación simultánea en dicha condición. Únicamente será de aplicación a los buques en los que el agente climático que define del estado de proyecto en condiciones excepcionales considerado no es causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque.
- *Para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una situación de emergencia del buque amarrado:* el dominio establecido para la condición de trabajo en la que se considera que se produce la situación de emergencia.
- *Para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico:* de entre los estados meteorológicos simulados para estas condiciones excepcionales (estados meteorológicos frecuentes y cuasi-permanentes), se considerarán únicamente los estados meteorológicos compatibles con el definido como representativo de la condición de trabajo excepcional adoptada a los efectos de la determinación del resto de cargas de actuación simultánea en dicha condición.
- *Para condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica:* de entre los estados meteorológicos simulados para estas condiciones extremas y excepcionales (estados cuasi-permanentes), se considerarán únicamente los estados meteorológicos compatibles con el definido como representativo de la condición de trabajo excepcional adoptada a los efectos de la determinación del resto de cargas de actuación simultánea en dicha condición.
- ◆ El valor representativo de las cargas de amarre en un elemento del sistema de amarre en cada condición de trabajo (valor característico, valor de combinación, valor frecuente y valor cuasi-permanente, en función de la condición de trabajo), será la mayor carga de amarre en dicho elemento entre las obtenidas para dicha condición de trabajo, considerando todos los buques de la flota esperable en el atraque, en la situaciones límite de carga de los mismos, o la parte que deba considerarse de dicha flota cuando se consideren condiciones extremas y extraordinarias debidas a la presentación de un agente climático extraordinario.
- ◆ El estado meteorológico asociado al valor característico de la carga de amarre en el elemento del sistema de amarre y para el modo de fallo considerado se adoptará como esta-

do meteorológico representativo de las condiciones de operación correspondiente al estado límite de permanencia del buque en el atraque, utilizándose a los efectos de la obtención de los valores compatibles de otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan de los agentes meteorológicos.

b<sub>32</sub>) Para formulaciones probabilistas

Para la verificación mediante formulaciones probabilísticas de modos de fallo últimos o de servicio en los que intervengan únicamente las cargas de amarre con otros factores directamente correlacionados con las mismas o éstas conjuntamente con otros factores independientes de las mismas o de los agentes de los que dependen, la función de distribución de las cargas de amarre en un elemento del sistema de amarre en cada ciclo de solicitud puede obtenerse mediante modelos numéricos de forma similar a lo dispuesto para modelos analíticos (ver epígrafe a<sub>52</sub> de este apartado), como una función derivada de la función de distribución del parámetro principal que caracteriza la flota de buques en el atraque, así como de las funciones de distribución del resto de parámetros geométricos del buque, condicionadas a cada valor del parámetro principal, para las situaciones límite de carga del mismo; de las funciones de distribución de las distintas variables de los agentes actuantes sobre el buque amarrado en el emplazamiento en el ciclo de solicitud considerado; de los valores nominales de los parámetros que definen la configuración y características del sistema de amarre y defensas para cada buque, cuando no dependen de alguno de los agentes actuantes, y de la relación entre los valores de los parámetros que definen la configuración y características del sistema de amarre y defensas y el valor de los agentes actuantes cuando dependan de ellos.

La diferencia radica en que mediante la aplicación de este tipo de modelos, la función de distribución de las cargas de amarre en un elemento del sistema de amarre se obtiene mediante el ajuste de una función de distribución a los valores máximos determinados a partir de los resultados obtenidos en el elemento considerado mediante la aplicación de simulaciones numéricas a un número suficiente de situaciones (buque + situación límite de carga del mismo + configuración del sistema de amarre + estado meteorológico u operativo) obtenidas aleatoriamente a partir de las funciones estadísticas de los parámetros que las definen (p.e. mediante el método de Monte Carlo).

Aunque la obtención de las funciones de distribución de las cargas de amarre en los distintos elementos del sistema de amarre mediante modelos numéricos es muy fiable, para ello se exige la realización práctica de un número muy elevado de simulaciones. Por dichas razones, salvo para flotas de buques esperables en el atraque de carácter muy homogéneo, no suele ser asumible su aplicación en términos de coste.

Por las mismas razones tampoco suele ser asumible la utilización de modelos numéricos para la obtención de cargas de amarre compatibles para la verificación mediante formulaciones probabilistas de modos de fallo últimos o de servicio en los que intervengan conjuntamente con las cargas de amarre otros factores dependientes de alguno de los agentes de los que éstas dependen.

#### 4.6.4.4.7.1.4. Modelos experimentales

La utilización de modelos experimentales para la determinación de movimientos del buque y cargas de amarre da lugar a mayores costes en relación con los producidos por la aplicación del resto de modelos. Por dicha razón, los modelos experimentales de buques atracados deberán contemplarse como alternativa a los modelos numéricos, si su aplicación es necesaria de acuerdo con lo señalado en esta Recomendación, cuando no se disponga de este tipo de modelos, o los disponibles sean de escasa fiabilidad para las condiciones del emplazamiento, no estén ampliamente calibrados o contrastados en su rango de validez o no se defina el mismo. Asimismo, con carácter general, es particularmente recomendable la aplicación de modelos experimentales para comple-

mentar y contrastar los resultados obtenidos por medio de modelos matemáticos analíticos o numéricos, particularmente en aquellos casos en que éstos no incorporen todos los efectos significativos a los efectos de la generación de movimientos sobre el buque, o cuando las condiciones morfológicas del emplazamiento puedan dar lugar a variaciones significativas de las condiciones de actuación de los agentes exteriores a lo largo del buque amarrado (p.e. batimetrías muy irregulares, peraltadas o variables en la zona de atraque, condiciones de contorno complejas, resguardos bajo la quilla muy limitados, estructuras de atraque discontinuas o parcialmente reflejantes, ...) que el modelo numérico utilizado no es capaz ni de introducir correctamente ni, consecuentemente de valorar sus efectos. Para ello, debe garantizarse que el modelo experimental puede reproducir con la máxima fiabilidad el comportamiento del buque, incluyendo todos los efectos que influyen en el mismo, por lo que es necesario que los agentes climáticos actuantes puedan introducirse en el modelo con sus definiciones espectrales o temporales lo más completas posibles, a los efectos de que se tomen en consideración la incidencia de la irregularidad y dispersión direccional de los mismos. En el caso de no poder ser así por las características de las instalaciones disponibles, la consideración de los modelos experimentales como alternativa a modelos numéricos fiables no debe ser tomada en consideración.

Independientemente de lo anterior, siempre es conveniente aprovechar las posibilidades que se presenten de realización de ensayos mediante modelos experimentales para la determinación de movimientos de buques y cargas de amarre, sin que represente un incremento significativo de los costes, cuando estén disponibles modelos físicos contruidos para el análisis prioritario de otros fenómenos (p.e. ensayos de agitación o de estabilidad estructural).

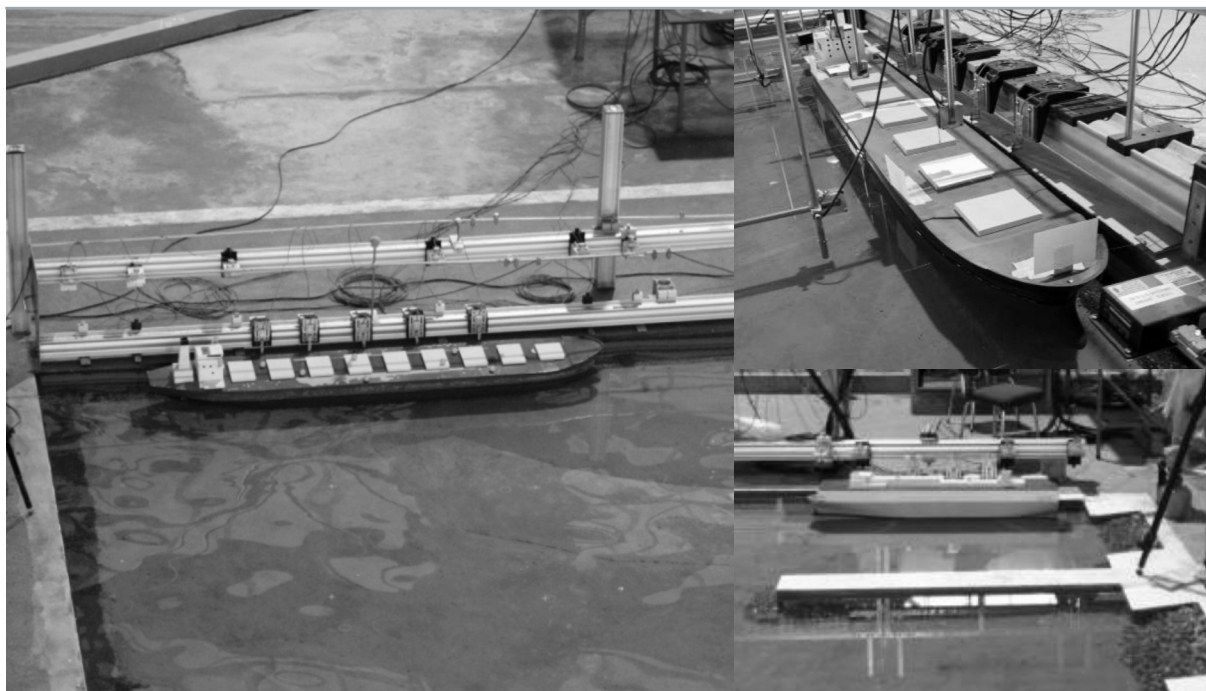
Los modelos experimentales que normalmente se consideran para la determinación de cargas de amarre y movimientos del buque amarrado son los modelos físicos hidráulicos en tanque de oleaje utilizando buques, contruidos conforme a la ley de semejanza de Froude entre modelo y prototipo, con escalas reducidas en general entre 1:80 y 1:150 en función de las dimensiones de la instalación portuaria analizada, de los factores de escala en relación con el tamaño de los buques que deben analizarse, del área marítima y costera necesaria para la correcta modelización de los estados meteorológicos en el emplazamiento, de las direcciones de oleaje que deben considerarse y de las características de las instalaciones así como del espacio disponible en el laboratorio (Ver figura 4.6.4.41). Menores escalas no son recomendables con el objeto de que se mantengan reducidos los efectos de escala derivados de las fuerzas viscosas, de capilaridad y de fricción con el fondo sin que deban conservarse simultáneamente en modelo y prototipo los números de Froude, Reynolds y Weber.

Al igual que los modelos numéricos, los modelos experimentales también permiten obtener las series temporales completas de los movimientos de los buques y de las cargas en líneas de amarre y defensas y, por tanto, sus parámetros estadísticos y espectrales, asociadas con los estados meteorológicos y operativos considerados, introducidos en el modelo a través de las descripciones espectrales y/o estadísticas de los agentes que actúan simultáneamente. Los registros de los movimientos de los buques se obtienen a través de emisores-receptores de rayos láser calibrados previamente, que dirigen el haz a puntos concretos de la cubierta y costado del buque modelizado, y los de las cargas en líneas de amarre y defensas a través de extensómetros. No se considerarán representativos ensayos correspondientes a un estado meteorológico estacionario que no simule un mínimo de tiempo equivalente a 3 horas en prototipo. Cuando deba considerarse un estado operativo transitorio (p.e. efectos hidrodinámicos inducidos por el paso de buques en tránsito) de actuación simultánea que el estado meteorológico pero de menor duración que el mismo, deberá considerarse la actuación del agente operativo aleatoriamente en diferentes momentos temporales de la simulación (mínimo 3) con el objeto de que pueda analizarse su influencia en la respuesta del buque y del sistema de amarre en diferentes posiciones de equilibrio.

Para la obtención del valor máximo más probable de movimientos del buque y de cargas de amarre correspondiente a una serie temporal registrada será de aplicación lo dispuesto al respecto para los modelos numéricos.

Asimismo, para la definición de las situaciones a ensayar en modelos experimentales para la determinación de los movimientos de los buques y de las cargas de amarre, tanto en lo que respecta a los buques y configuraciones de amarre como a los estados meteorológicos y operativos, se estará a lo dispuesto a estos efectos para modelos numéricos (epígrafe  $b_1$  del apartado 4.6.4.4.7.1.3). De igual forma, para la definición de las condiciones límite de operatividad, así como de las cargas de amarre en cada condición de trabajo, a partir de los resultados de los ensayos en modelo físico realizados, se seguirá el procedimiento establecido a estos efectos cuando se aplican modelos numéricos (ver epígrafes  $b_2$  y  $b_3$  del apartado 4.6.4.4.7.1.3).

**Figura 4.6.4.41. Ejemplo de modelo experimental para la determinación de cargas de amarre y movimientos del buque amarrado**



En el caso de que un punto de amarre pueda recibir cargas de amarre de atraques contiguos, los ensayos deberán realizarse considerando la presencia simultánea de buques en ambos atraques. En el caso de atraques múltiples para una misma flota, con el objeto de reducir el número de ensayos, simplifícadamente se considerarán en ambos atraques el mismo buque y situación de carga del mismo.

#### 4.6.4.4.7.2. Criterios de aplicación y de distribución de las cargas de amarre en los elementos estructurales

Las cargas de amarre aplicadas en los puntos de amarre se considerarán concentradas en su punto de aplicación, a menos que se adopten simplifícadamente disposiciones lineales de las mismas a los efectos de la verificación de modos de fallo globales en obras de atraque continuas. En cualquiera de los casos se tendrá en cuenta el nivel de aplicación real de las cargas respecto a la estructura (p.e. altura del bolardo o del gancho de amarre sobre el nivel de coronación).

A los efectos de la verificación de modos de fallo locales, en el caso de que el punto de amarre esté equipado con bolardos, bitas, ganchos de amarre, ganchos de escape rápido, cabrestantes u otros equipos auxiliares para la sujeción de líneas de amarre se considerará que dichas cargas de amarre concentradas se transmiten a la estructura resistente en el área de contacto formada por la placa de anclaje del bolardo, gancho de amarre, ganchos de escape rápido u equipo auxiliar adoptado, a través de los correspondientes dispositivos de anclaje.

Para la distribución de las cargas de amarre aplicadas en las defensas, tanto en lo que se refiere a las presiones de contacto generadas sobre el casco del buque como al área en la que se transmiten a la estructura resistente será de aplicación lo dispuesto a estos efectos para las cargas de atraque (Ver apartados 4.6.4.4.3.2 y 4.6.4.4.3.3).

Podrá considerarse simplifícadamente de lado de la seguridad que las acciones de amarre sobre los puntos de amarre y sobre las defensas son incompatibles entre sí cuando las componentes principales de las mismas actúen en una misma dirección y sentidos contrarios y ser, por tanto, su actuación simultánea favorable

a los efectos de la verificación de modos de fallo globales. No obstante, en estructuras atracables por ambos lados, así como en otras tipologías (p.e. estructuras de atraque en las que puedan amarrar esprines de acuerdo con la configuración del sistema de amarre establecido), en las que ambas cargas puedan actuar con sus componentes principales en el mismo sentido o en diferentes direcciones deberá considerarse su actuación simultánea.

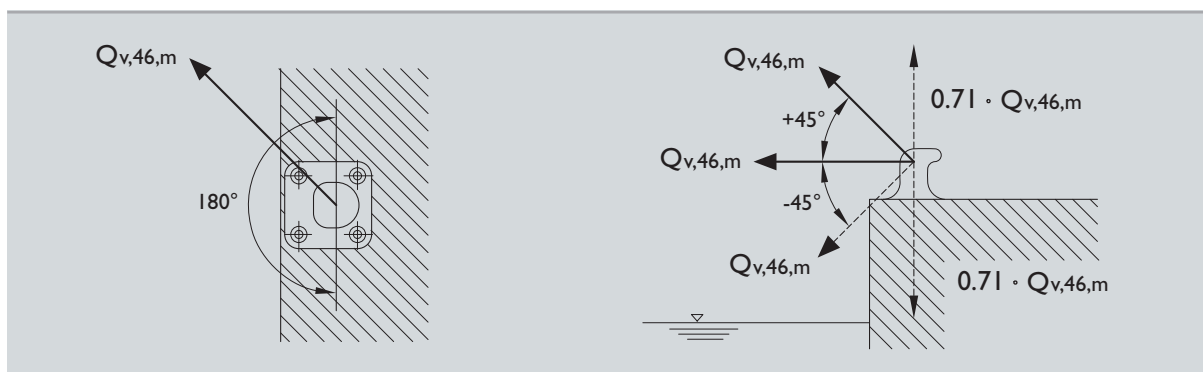
Tal como se ha señalado en apartados anteriores, en obras de atraque fijas continuas deberá considerarse simplificada que en todos los puntos de amarre puede actuar en cada condición de trabajo simultáneamente la carga correspondiente al punto de amarre más cargado en dicha condición de trabajo, en la dirección más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre las que puede actuar. La misma simplificación es aplicable también a las cargas de amarre en las defensas.

En el caso de buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque, una vez determinado, de acuerdo con lo dispuesto en apartados anteriores, el valor representativo de la carga de amarre en cada punto de amarre en la condición de trabajo considerada como la mayor resultante de las líneas de amarre que pueden actuar simultáneamente sobre dicho punto en dicha condición de trabajo, deberá asumirse que ésta puede actuar en cualquier dirección en un sector angular horizontal de  $180^\circ$  en el lado mar, medido desde la alineación de atraque, y en un sector angular vertical de  $+45^\circ$  medidos desde la horizontal, independientemente de la dirección de dicha resultante, adoptándose la dirección que sea más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado (Ver figura 4.6.4.42). En áreas con variaciones importantes del nivel de las aguas exteriores, el sector angular vertical considerado debe ser  $\pm 45^\circ$  en función de las características de la flota esperable en el atraque. <sup>(145)</sup>

En el caso de buques amarrados por proa a un único punto fijo deberá asumirse que el valor representativo de la carga de amarre en cada condición de trabajo puede actuar en cualquier dirección horizontal y en un sector angular vertical de  $\pm 45^\circ$  medido desde la horizontal.

En el caso de buques amarrados a un amarradero con orientación fija formado por un sistema de amarre a dos puntos de amarre, uno en proa y otro en popa, deberá asumirse que los valores representativos de las cargas de amarre en cada condición de trabajo pueden actuar en cualquier dirección en un sector angular horizontal de  $\pm 45^\circ$ , medido desde el eje longitudinal del buque, y en un sector angular vertical de  $+45^\circ$  medido desde la horizontal.

**Figura 4.6.4.42. Direcciones de actuación del valor representativo de las cargas en los puntos de amarre, para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque**

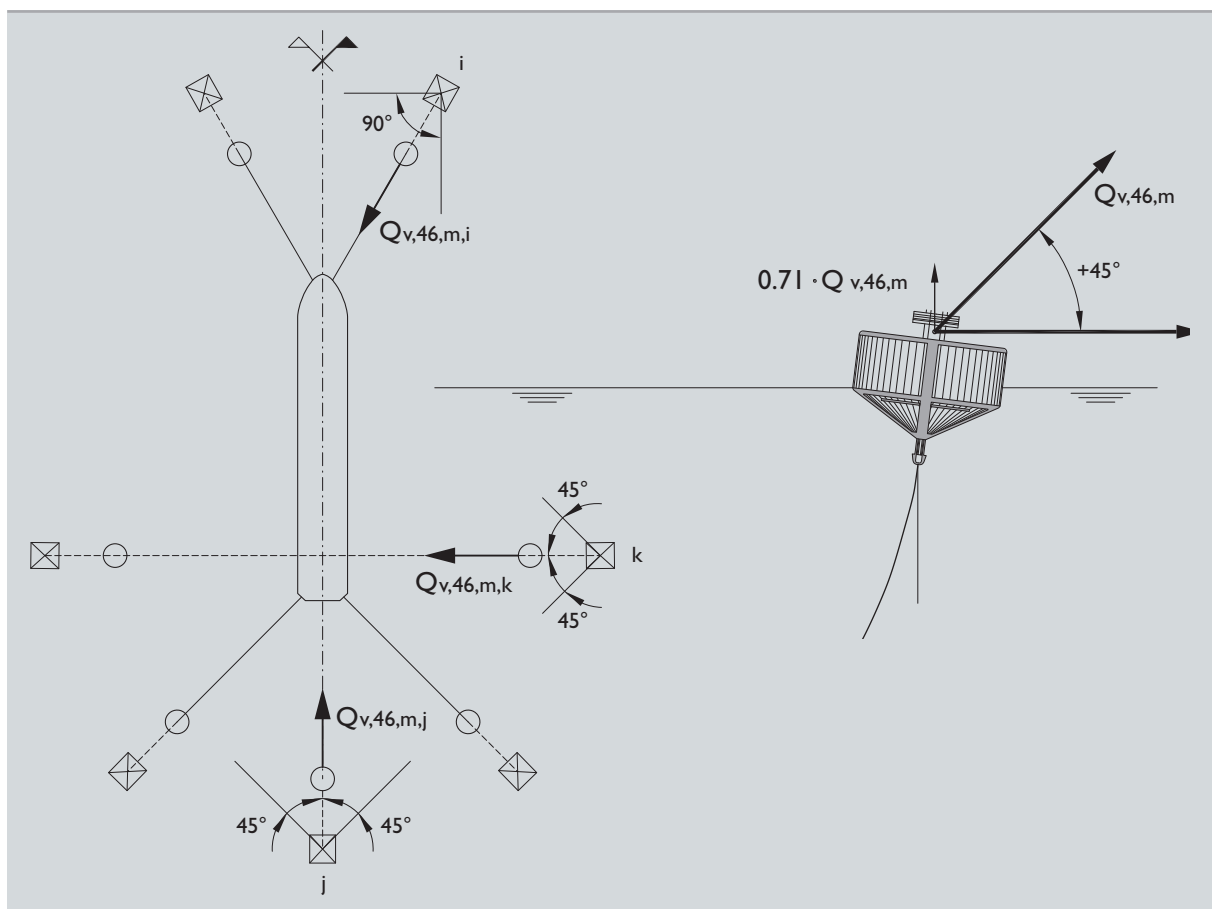


(145) Los límites considerados en esta Recomendación para los ángulos horizontales y verticales de las cargas de amarre en los puntos de amarre son inalcanzables para algunos equipos de amarre. Por ejemplo, algunos ganchos de escape rápido existentes en el mercado no permiten estos recorridos, particularmente en lo referente a los ángulos verticales negativos. No obstante, en previsión de posibles modificaciones en este equipamiento durante la vida útil de la obra de atraque se considerará el rango de direcciones establecido de actuación de las cargas de amarre, independientemente del tipo de punto de amarre considerado en el proyecto.



En el caso de buques amarrados a un amarradero con orientación fija formado por sistemas múltiples constituidos por puntos de amarre en proa y popa, deberá asumirse que los valores representativos de las cargas de amarre correspondientes a los largos en cada condición de trabajo pueden actuar en cualquier dirección en un sector angular horizontal de  $90^\circ$  en el lado del buque, medido desde la dirección paralela a la que se posiciona el eje longitudinal del buque, o de  $\pm 45^\circ$  para los largos situados en dicho eje longitudinal, y en un sector angular vertical de  $+45^\circ$  medido desde la horizontal (Ver figura 4.6.4.43). En el caso de los valores representativos de las cargas de amarre correspondientes, en su caso, a las coderas se considerará que pueden actuar en un sector angular horizontal de  $\pm 45^\circ$  en el lado del buque, medido desde una dirección perpendicular a la posición del eje longitudinal del buque.

**Figura 4.6.4.43. Direcciones de actuación del valor representativo de las cargas en los puntos de amarre, para buque amarrado a un amarradero de orientación fija formado por sistemas múltiples**



Cuando puedan adoptarse disposiciones lineales para las cargas de amarre, éstas se definirán en cada condición de trabajo como una carga lineal uniformemente repartida igual al mayor valor representativo de la carga de amarre entre los correspondientes a todos los puntos de amarre en dicha condición de trabajo, dividido por la separación más pequeña entre puntos de amarre. Para poder considerar dicha simplificación, los puntos de amarre (bolardos, ganchos de amarre, ...) deben estar ubicados en el eje de simetría de la estructura resistente o en el punto medio entre juntas de dilatación en el caso de obras de atraque continuas.

Al igual que lo señalado para otro tipo de cargas, cuando la distancia entre el punto o la superficie de actuación de las cargas de amarre sobre la estructura resistente y la directriz de dicha estructura sea significativa, se procederá al reparto de las cargas hasta dicha superficie mediante planos trazados desde los bordes del área de



contacto con inclinación 1:1 (45°), sin perjuicio de otro tipo de acciones que pudieran presentarse debido a la no coincidencia entre el punto de aplicación de las cargas y la directriz del elemento estructural. Podrán adoptarse repartos más favorables siempre que se justifiquen debidamente por medio de modelos teóricos de validez reconocida para el elemento estructural analizado. La aplicación de este criterio de reparto a estructuras lineales continuas lleva a considerar, con carácter general, que la carga de amarre es resistida por una longitud de estructura resistente igual a  $2 \cdot b$ , siendo  $b$  el ancho de dicha estructura, siempre y cuando dicha longitud sea menor que la distancia entre juntas de dilatación. No obstante lo anterior, en estructuras de pequeña anchura se suelen aplicar criterios específicos más favorables en función de su tipología y características estructurales. Por ejemplo en pantallas de tablestacas metálicas, suele considerarse que las cargas de amarre son resistidas por una longitud de pantalla igual a cuatro veces la distancia entre anclajes.

#### 4.6.4.4.7.3. Cargas de amarre mínimas en puntos de amarre y defensas

Sin perjuicio de la determinación de las cargas de amarre para cada una de las condiciones de trabajo de acuerdo con las metodologías establecidas en esta Recomendación, con el objeto de tomar en consideración las incertidumbres asociadas con dichos procesos metodológicos y con la definición de los agentes actuantes sobre el buque amarrado, así como las variaciones razonables en las condiciones de utilización y los criterios de explotación de la obra de atraque durante su vida útil respecto a los previstos en la fase de proyecto, es recomendable considerar un valor característico mínimo de las cargas de amarre en condiciones de operación asociadas al estado límite de permanencia del buque en el atraque. Dicho valor característico mínimo se define para buques con eslora mayor o igual a 25 m, en función de la configuración física del atraque, de las condiciones climáticas límite establecidas para la permanencia del buque en el mismo y del buque de mayor desplazamiento máximo perteneciente a la flota esperable en el atraque.

##### a) Para buques amarrados lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre

- ◆ Valor característico mínimo de las cargas de amarre en los puntos de amarre, para condiciones operativas de permanencia del buque en el atraque

Cuando las condiciones climáticas límite definidas para la permanencia de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque se clasifiquen como Tipos I y II de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.49 de esta Recomendación, los valores característicos mínimos de las cargas de amarre en los puntos de amarre, en condiciones operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque, se incluyen en la tabla 4.6.4.66.

**Tabla 4.6.4.66. Valores característicos mínimos de las cargas en los puntos de amarre, para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque en condiciones climáticas Tipos I y II, para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque**

BUQUE DE MAYOR DESPLAZAMIENTO MÁXIMO ( $\Delta_{pc}$ ) PARA LA FLOTA ESPERABLE EN EL ATRAQUE (t)	VALOR CARACTERÍSTICO MÍNIMO DE LAS CARGAS DE AMARRES EN LOS PUNTOS DEL AMARRE (kN)
$\leq 1000$	100
1.000 a 5.000	250
5.000 a 10.000	350
10.000 a 20.000	600
20.000 a 50.000	800
50.000 a 100.000	1.000
100.000 a 200.000	1.500
$> 200.000$	2.000

Cuando las condiciones climáticas límite definidas para la permanencia de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque se clasifiquen como Tipo III de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.49 de esta Recomendación, los valores característicos mínimos de las cargas de amarre en los puntos de amarre en las citadas condiciones de trabajo serán las correspondientes a la tabla 4.6.4.66, incrementados en un 25%.

Dichas cargas mínimas serán de aplicación independientemente del tipo de equipo auxiliar de sujeción considerado (p.e. bolardo o gancho de escape) y del número de líneas de amarre que pueda recibir (bolardo simple o doble, gancho de escape rápido simple, doble, triple o cuádruple).

- ◆ *Valor característico mínimo de las cargas de amarre en las defensas, para condiciones operativas de permanencia del buque en el atraque*

Los valores característicos mínimos de las cargas de amarre en las defensas, en condiciones operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque, son los establecidos para los puntos de amarre para cada una de las condiciones climáticas límite definidas para la permanencia del buque en el atraque, multiplicados por la siguiente relación: separación entre defensas/separación entre puntos de amarre.

#### **b) Para buques amarrados por proa a un amarradero de orientación libre**

Cuando las condiciones climáticas límite definidas para la permanencia de los buques o embarcaciones pertenecientes a la flota esperable en el atraque se clasifiquen como Tipo I ó II de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.49 de esta Recomendación, los valores característicos mínimos de las cargas de amarre en los puntos de amarre, en condiciones operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque, se incluyen en la tabla 4.6.4.67. Asimismo, cuando las condiciones climáticas límite definidas para la permanencia de los buques en el atraque se clasifiquen como Tipo III de acuerdo con lo dispuesto en la citada tabla, los valores característicos mínimos de las cargas de amarre en los puntos de amarre en las citadas condiciones de trabajo serán los establecidos para condiciones climáticas Tipos I y II, incrementados en un 25%.

**Tabla 4.6.4.67. Valores característicos mínimos de las cargas en los puntos de amarre, para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque en condiciones climáticas Tipos I y II, para buque amarrado por proa a un amarradero de orientación libre (monoboya o monodique de alba)**

BUQUE DE MAYOR DESPLAZAMIENTO MÁXIMO A PLENA CARGA( $\Delta_{pc}$ ) PARA LA FLOTA ESPERABLE EN EL ATRAQUE (t)	VALOR CARACTERÍSTICO MÍNIMO DE LAS CARGAS DE AMARRES EN LOS PUNTOS DEL AMARRE (kN)
$\leq 1000$	150
1.000 a 5.000	350
5.000 a 10.000	500
10.000 a 20.000	700
20.000 a 50.000	1.000
50.000 a 100.000	1.500
100.000 a 200.000	2.000
$> 200.000$	2.500

#### **c) Para buques amarrados a un amarradero de orientación fija**

Para sistemas de amarre a dos boyas, una a proa y otra a popa, los valores característicos mínimos de las cargas de amarre en los puntos de amarre, en condiciones operativas correspondientes al estado lími-

te de permanencia del buque en el atraque en condiciones climáticas Tipos I y II, serán el doble de los establecidos en la tabla 4.6.4.67 para buques amarrados por proa a un amarradero de orientación libre

Para sistemas de amarre múltiples, constituidos por, como mínimo, seis puntos de amarre situados tanto en proa como en popa, los valores característicos mínimos de las cargas de amarre en los puntos de amarre, en condiciones operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque en condiciones climáticas Tipo I ó II, serán idénticos a los establecidos en la tabla 4.6.4.67 para buques amarrados por proa a un amarradero de orientación libre.

No se definen valores característicos de las cargas de amarre mínimas para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque clasificadas como Tipo III, al considerarse que estas configuraciones físicas del atraque no son recomendables para estas condiciones (Ver apartado 4.6.4.7.1.1. d).

Para la aplicación de los anteriores valores característicos mínimos de las cargas de amarre, las disposiciones del sistema de amarre, incluyendo la separación entre puntos de amarre y, en su caso, entre defensas, deberá responder a las disposiciones tipo establecidas en esta Recomendación para cada una de las configuraciones físicas del atraque (Ver tablas 4.6.4.50 a 4.6.4.57).

Los valores característicos mínimos de las cargas de amarre incluidos en esta Recomendación se considerarán de aplicación únicamente para la verificación de los modos de fallo en condiciones de trabajo operativas correspondientes a la permanencia del buque en el atraque por medio de formulaciones determinista o determinista-probabilista, para probabilidades de presentación de los modos de fallo en estas condiciones menores o iguales al 5%.





