

Paper N°8 – Actualidad en el diseño de los sistemas de defensa para el atraque de los buques y para el amarre de los mismos

Del Vecchio, Alberto; Farah, Gabriel; Kovacs, Viktor

Email: albertodelvecchio@speedy.com.ar

ABSTRACT:

En el diseño de las obras portuarias participan principalmente los accesorios que hacen al atraque y al amarre de los buques.

Esta participación lleva a investigadores, profesionales y proveedores de los elementos típicos (defensas y bolardos) a mantener en el tiempo una permanente secuencia de novedades en el diseño y/o mejoras tecnológicas que influyen en las mejores soluciones de diseño para cada caso. Así, en el caso de los sistemas de defensa, se han presentado desde el año 2002 en adelante una serie de recomendaciones que se han incorporado en distintas publicaciones internacionales y que así forman parte de las mejoras continuas en el diseño. Se mencionan en particular las recomendaciones PIANC, EAU y ROM 2.0-11.

Cabe mencionar la clara recomendación en referencia a estados de sollicitación derivados de operaciones de atraque normal y excepcional, de aplicación obligada – por ejemplo – al caso de buques LNG.

Además de esto, la especificidad en el diseño de los buques y otros elementos navales introducen cambios que deben ser contemplados en esta intervención. Un ejemplo de esto es el caso de las embarcaciones construidas con casco de aluminio.

Finalmente, los proveedores de los sistemas de defensa (estamos mencionando defensas de goma) evolucionan en las características del compuesto que las integran y pasan a considerar ahora no sólo las respuestas que brindan las mismas en el inicio de su ciclo de vida sino también en su evolución en el tiempo.

El trabajo que se propone tiene por objetivo el expresar un estado de situación actual, al recoger las últimas novedades sobre estos aspectos del diseño de los elementos de atraque y de amarre.

En el caso de los elementos de amarre se detallan las expresiones que proponen las distintas recomendaciones internacionales (las cuales no coinciden en cada caso) promoviendo el cálculo detallado de las acciones frente a la clásica elección de elementos de amarre previstos para una carga determinada en función del tamaño de los buques que deben amarrarse.

Esta diferenciación resulta clave en la actualidad de los nuevos diseños de instalaciones portuarias al considerar por ejemplo el incremento de tráfico y el incremento en las dimensiones de los buques.

1 INTRODUCCIÓN

Las obras portuarias que resuelven la transferencia de carga entre los modos de transporte tierra y agua se diseñan para resistir adecuadamente las acciones de atraque, amare y operación.

Las acciones de atraque y de amarre se ejercen con preponderante dirección horizontal lo cual, conjugado con las elevadas magnitudes de las mismas, plantean constantes desafíos de ingeniería a la hora del diseño de las estructuras resistentes.

Tanto la acción de atraque como la acción de amarre se introducen en la estructura a través de dispositivos – defensas y bolardos / ganchos de soldado rápido – haciendo posible la vinculación operativa entre el buque y la obra portuaria.

Dada la importante relevancia de estas acciones en el diseño resulta necesario actualizarse permanentemente tanto en lo que hace a las evoluciones tecnológicas de estos dispositivos como así también con las directivas y recomendaciones de diseño de aplicación específica en este tema.

El objeto del presente trabajo es por lo tanto el identificar y exponer las mejoras continuas en tecnologías y recomendaciones de aplicación sobre los dispositivos de defensa y de amarre. Cuando el tratamiento del tema lo permita se desarrollarán ejemplos conceptuales de carácter comparativo suponiendo su campo de aplicación en nuestro sistema fluvial local.

2 SISTEMAS DE DEFENSA

Los sistemas de defensa – elementos de goma – son dispositivos que se sujetan a las estructuras de las obras portuarias y poseen la capacidad de convertir la energía cinética desarrollada por la embarcación durante la maniobra de atraque en energía de deformación por compresión del elemento. Esta transferencia de energía conlleva consigo la aparición de una fuerza reactiva que actúa con la misma magnitud sobre la estructura y sobre el buque que está atracando.



Figura 1: sistema de defensa

2.1 Actualidad en las recomendaciones de diseño. El caso del atraque excepcional

En el caso de la determinación de la energía cinética desarrollada por la embarcación durante la maniobra de atraque, las recomendaciones de diseño han evolucionado – y lo continúan haciendo – el concepto de maniobra de atraque desarrollada en condiciones “normales” y en condiciones “excepcionales”.

En el primer caso, la formulación adoptada para su cuantificación parte de la usual expresión de energía cinética:

$$E_n = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta}{g} \cdot v^2 \cdot c_m \cdot c_e \cdot c_g \cdot c_f \cdot c_r \quad [1]$$

Donde se tiene que:

- Δ : Desplazamiento del buque
- V : velocidad de aproximación
- C_m : coeficiente de masa
- C_e : coeficiente de excentricidad
- C_g : coeficiente de geometría
- C_f : coeficiente de configuración
- C_r : coeficiente de rigidez

Es en el segundo caso – atraque en condición “excepcional” – en el cual vale la pena detenerse para observar la evolución de las recomendaciones de diseño.

En todos los casos, para la determinación de la energía de atraque “excepcional”, se propone la aplicación de un coeficiente que afecta al valor de energía de atraque “normal”, es decir:

$$E_e = f \cdot E_n \quad [2]$$

El factor de conversión “f” ha evolucionado de la siguiente manera:

- s/ROM 0.2-90
 $f = 2.00$ [3]
- s/PIANC 2002 y EAU 2004

Table R 60-1. Additional factors for exceptional berthing manoeuvre

Type of vessel	Size of vessel	Additional
Tanker, bulk cargo	large	1.25
	small	1.75
Container	large	1.5
	small	2.0
General cargo		1.75
Ro/Ro, ferry		≥ 2.0
Tug, workboat		2.0

Figura 2: Tabla de valores del factor de conversión de energía excepcional (fuente: EAU 2004)

- s/ROM 2.0-11
 $f = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \cdot \gamma_4 \geq 1.10$ [4]

En efecto, esta recomendación propone “construir” el factor de conversión “f” a partir del producto de cuatro parámetros que permiten cuantificar aquellos aspectos de la maniobra que están directamente relacionados con la posibilidad de ocurrencia de ataques en condición “excepcional”. La definición de cada parámetro se presenta en la Figura 3 al pie de la presente página.

La aplicación de este procedimiento conduce a coeficientes “f” cuyos valores no presentan significativas diferencias respecto a PIANC 2002 / EAU / 2004.

$\gamma_{fi,1}$		$\gamma_{fi,2}$		$\gamma_{fi,3}$		$\gamma_{fi,4}$	
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	
≤ 85.000 t	> 85.000 t	Sin remolcadores	Con remolcadores	≤ 0,1 m/s	> 0,1 m/s	Alta (> 300 escalas/año)	Baja (≤ 300 escalas/año)
1,50	1,25	1,25	1,00	1,20	1,00	1,15	1,00

Figura 3: Tabla de coeficientes para la determinación del factor de conversión de energía excepcional (fuente: ROM 2.0-11)

Sí es de apreciar que la “construcción” del factor “f” permite abordar el tratamiento de su cuantificación analizando por separado las variables que lo componen, lo cual permite tomar criterio por separado cada aspecto que hacen a la realidad de atraque excepcional

Cabe aquí recordar que frente a situaciones de atraque “normales” el procedimiento recomendado es diseñar la estructura con un coeficiente de seguridad determinado (reglamentario) para luego proceder a verificar que la estructura resulte con un coeficiente de seguridad aceptable frente a las solicitaciones derivadas del atraque “excepcional”.

2.2 Actualidad en el diseño de embarcaciones. El caso de buques con casco de aluminio

El diseño naval de cierto tipo de embarcaciones evoluciona hacia la utilización de nuevos materiales y geometrías de casco que resulta necesario conocer a la hora de determinar el sistema de defensas más adecuado para afrontar las maniobras de atraque.

En el caso de catamaranes, ferrys y embarcaciones de transporte de pasajeros, atento a necesidades de hidrodinámica que permitan el desarrollo de velocidades y altos niveles de confort, se diseñan y construyen cascos en aluminio.

En estos casos la geometría del casco suele ofrecer aristas vivas y/o cintones sobre los cuales se debe garantizar que es sistema de defensa ejerza permanente contacto para cualquier condición de flotación.



Figura 4: imagen de embarcación con diseños de casco actuales (fuente HSS Stena)

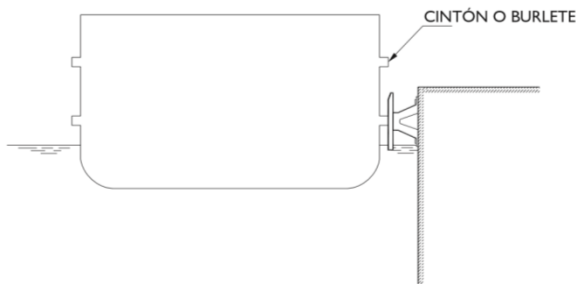


Figura 5: identificación de cintón o burlete en embarcaciones con casco de aluminio (fuente: ROM 2.0-11)

Es aquí donde deben tenerse en cuenta nuevos valores de referencia al momento de llevar adelante la verificación de presiones de contacto entre la defensa y el casco / cintones del buque.

Las actuales recomendaciones de diseño, como el caso de la ROM 2.0-11, identifican valores admisibles para la verificación de estas presiones de contacto entre la defensa y la embarcación

Contacto en cintones y/o burletes:

$$p = 150 \text{ a } 300 \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right) \quad [5]$$

Contacto parte plana del casco:

$$p \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) \approx 10 \cdot \text{Calado plena carga (m)} \quad [6]$$

2.3 Actualidad en las tecnologías aplicadas a la fabricación de sistemas de defensa. El caso de las nuevas formulaciones en los compuestos de goma

La permanente actualización de las empresas proveedoras en el proceso de investigación, desarrollo y fabricación propician mejoras continuas en los productos que elaboran.

En la actualidad se identifica una gran cantidad de opciones de formulaciones para los compuestos de goma que integran las defensas pudiendo agruparse en los siguientes tres grupos:

- Compuestos 100% naturales.
- Compuestos sintéticos.
- Mezcla de ambos anteriores.

Adicionalmente, los proveedores comienzan a ofrecer formulaciones de compuestos "personalizadas" según las condiciones de implantación del elemento (agentes climáticos, etc).

La mejor identificación y aplicación del compuesto de goma que aplica a cada condición de implantación tiene directa relación con la vida útil del elemento, la cual actualmente posee valores medios de referencia del orden de los 15 a 20 años de servicio (o bien 2000 a 3000 ciclos de uso) cuando se aplican protocolos de mantenimiento periódicos establecidos por el proveedor / fabricante.

El desarrollo y aplicación de nuevos compuestos de goma conduce al incremento de la vida útil de la defensa.

Asimismo, las unidades de defensa más actuales ofrecidas en el mercado poseen factores de corrección al desempeño (por diferencias en la velocidad de compresión, en la temperatura, en la inclinación de contacto, etc) que varían según el modelo y compuesto de defensa que se trate.

Aquí cabe señalar una evolución respecto a los factores de corrección al desempeño propuestos según PIANC 2002, los cuales respondían a curvas de carácter genérico.

A continuación se acompaña un ejemplo conceptual comparativo en referencia al incremento de tamaño – masa en flotación – que experimentan las embarcaciones en nuestro sistema fluvial local y su posible solución desde el punto de vista de la acción de ataque.

La creciente evolución del volumen de carga (en este ejemplo: incremento de las de exportación de agrograneles) motivan la presencia de buques graneleros de mayor tamaño participando de la flota de diseño a considerar en las obras portuarias.

El incremento de tamaño de los buques justifica una presencia de mayores masas en flotación que, a la hora de verificar la aptitud de un sistema de defensa, plantea la necesidad de alcanzar el equilibrio de una mayor cantidad de energía cinética

desarrollada durante la maniobra de atraque.

Si a este fenómeno lo enmarcamos dentro del caso de instalaciones portuarias existentes que requieren operar con estos nuevos participantes de la flota veremos que podemos obtener soluciones a partir de las actuales disponibilidades de elementos de defensa.

Se acompañan tablas numéricas del ejemplo desarrollado.

Desplazamiento (ton)	Velocidad (m/s)	Cm	Ce	Ed (tm)	Ed (kN)
60.000	0.12	1.65	0.50	36	353
90.000	0.10	1.55	0.60	43	422

Figura 6: Tabla que permite apreciar el incremento de energía cinética desarrollada durante el atraque para las nuevas masas en flotación (incremento que está en el orden del 20%)

Tipo de defensa	Altura (mm)	Compuesto de goma		Esd (kNm)	FR (kN)
Cónica	1000	Tradicional	E 1.0	375 > 353	725
Cónica	1000	Actual	F 1.2	423 > 422	711

Figura 7: Tabla que permite apreciar actuales defensas que resuelven el problema (sin incremento de fuerza reactiva)

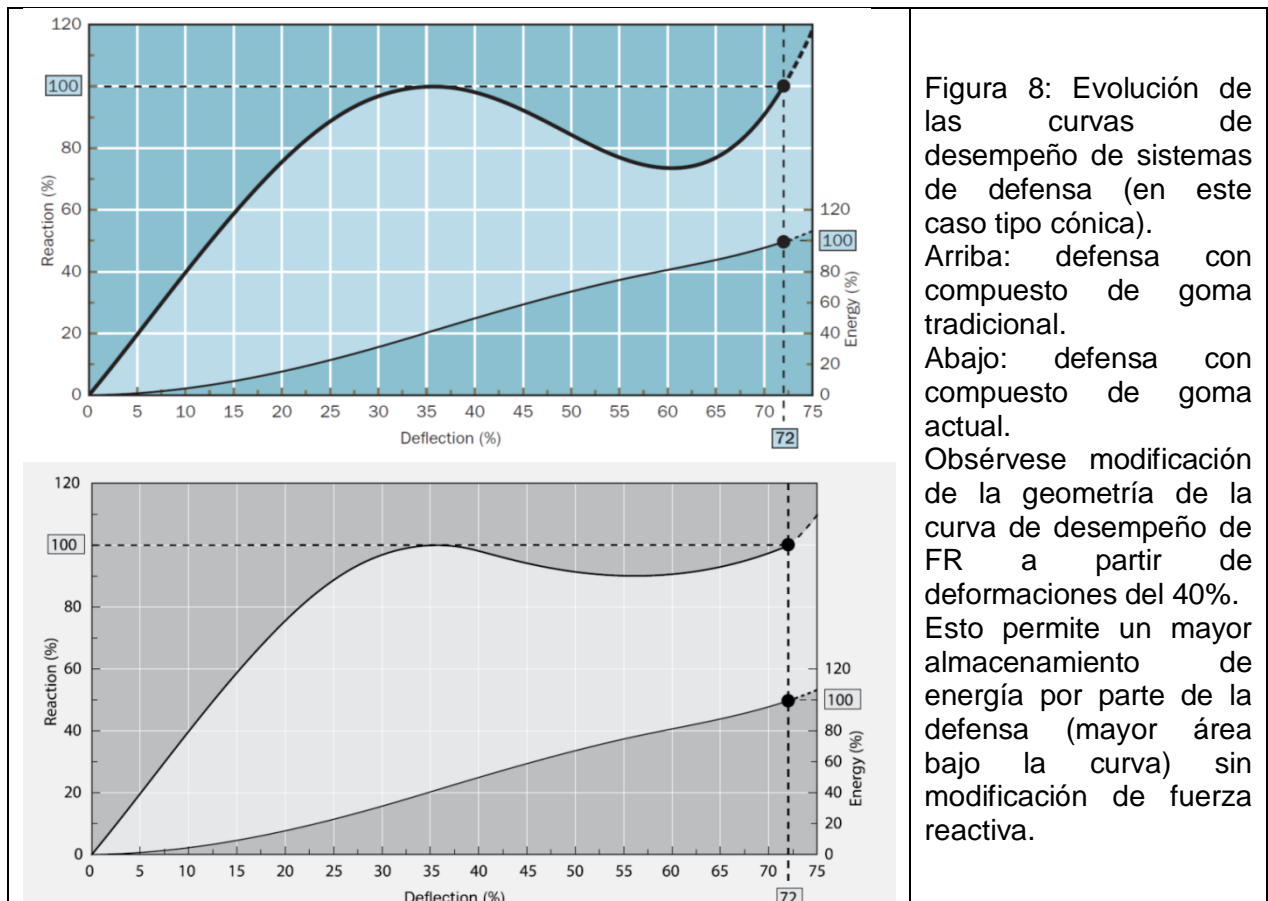


Figura 8: Evolución de las curvas de desempeño de sistemas de defensa (en este caso tipo cónica). Arriba: defensa con compuesto de goma tradicional. Abajo: defensa con compuesto de goma actual. Obsérvese modificación de la geometría de la curva de desempeño de FR a partir de deformaciones del 40%. Esto permite un mayor almacenamiento de energía por parte de la defensa (mayor área bajo la curva) sin modificación de fuerza reactiva.

3 DISPOSITIVOS DE AMARRE

Los dispositivos de amarre – sean estos los tradicionales bolardos o bien los ganchos de soltado rápido – son elementos que se vinculan a las estructuras de las obras portuarias y poseen la capacidad de afirmar sobre sí mismos a los cabos que componen cada línea de amarre que mantiene al buque con el mínimo grado de movimiento compatible con la operatoria de transferencia de carga a realizar.

La presencia de este dispositivo es la que asegura transferencia de la carga de amarre (“tiro”) que actúa con la misma magnitud sobre la estructura y sobre el cabo de amarre.



Figura 9: bolardo de amarre tradicional (fuente: Trelleborg)



Figura 10: gancho de soltado rápido

3.1 Actualidad en las recomendaciones de diseño. El caso de las formulaciones propuestas para la determinación de la acción de amarre

En el caso de la determinación de la acción de amarre las recomendaciones de diseño actuales proponen la aplicación de formulaciones que permiten incorporar las características geométricas del buque en cuestión e integrarlas con las características de los agentes ambientales que actúan sobre el mismo.

Las acciones que se producen pueden modelarse con suficiente exactitud como si se tratase de “fuerzas de arrastre”. Este tipo de modelación permite abordar el problema – de naturaleza compleja – de manera cuasi estática y aplicar herramientas sencillas para la distribución de fuerzas hacia los puntos de amarre.

$$F = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot v^2 \cdot A \cdot C \quad [7]$$

Donde se tiene que:

- F : Fuerza ejercida sobre el buque
- γ : densidad del fluido (aire / agua)
- v : velocidad del fluido (aire / agua)
- A : área expuesta al vector velocidad
- C : coeficiente de arrastre

Teniendo en cuenta la disponibilidad de este tipo de herramientas de diseño, en la actualidad deberíamos superar la elección del elemento de amarre en función al tamaño – desplazamiento – del buque y deberíamos realizar esa selección a partir de los valores reales determinados para cada escenario de diseño los cuales – por supuesto – podrán validarse mediante modelación numérica y/o física cuando la complejidad del caso lo requiera.

Para el caso de la publicación PIANC – Report n° 116 – Safety Aspects Affecting the berthing operations of tankers to oil and gas terminals (2012) se identifica una Buena síntesis de formulaciones que aplican a la acción de amarre teniendo en cuenta las siguientes fuentes:

- ROM
- British Standard
- OCIMF (de aplicación a buques petroquímicos)

Cabe aquí señalar que, para algunos casos particulares expuestos en la publicación, nosotros no hemos logrado encontrar coincidencias con los resultados publicados.

3.2 Actualidad en las tecnologías aplicadas a la fabricación de los dispositivos de amarre

En todos los casos estos dispositivos deben seleccionarse de manera de evitar roturas repentinas en el cabo de amarre.

Para el caso particular de embarcaciones petroquímicas, la publicación OCIMF establece que la carga de servicio actuante en un cabo no debe superar la siguiente relación:

$$T_{SERV} \approx 0.5 \cdot T_{ROT} \quad [8]$$

A partir de este tipo de consideraciones comienza a cobrar significativa importancia el conocimiento de la carga concreta que actúa en cada uno de los cabos que componen la configuración de amarre de un buque.

Las tecnologías actuales aplicadas en los dispositivos de amarre disponibles en el mercado permiten registrar la carga aplicada en cada cabo y/o punto de amarre. Como ejemplo de estos dispositivos tenemos:

- Gancho de soltado rápido con celdas de carga en cada uña.
- Bolardos con posibilidad de incorporar celdas de carga

Teniendo en cuenta la actual posibilidad de “medir” la carga aplicada sobre los cabos y/o dispositivos de amarre resulta de interés la elaboración de series de tiempo con los registros de carga en cada cabo y/o dispositivo.

Tener a disposición este tipo de datos para su análisis permitiría por ejemplo:

- Correlacionar los datos “medidos” con registros de valores de agentes ambientales (vientos, corrientes, oleaje)
- Validar y/o ajustar formulaciones que permiten determinar las acciones de amarre a partir de la actuación de agentes ambientales sobre el buque (modelo de “fuerzas de arrastre”)
- Validar y/o ajustar metodologías de distribución de la acción total de amarre (aplicada en el centro de gravedad del

buque) hacia cada uno de los cabos que conforman la configuración de amarre.

- Determinar la acción de amarre derivada por el paso de embarcaciones (por ejemplo realizando estas mediciones en días de “calma”).
- Determinar aquellos dispositivos más solicitados y realizar sobre ellos un seguimiento pormenorizado.

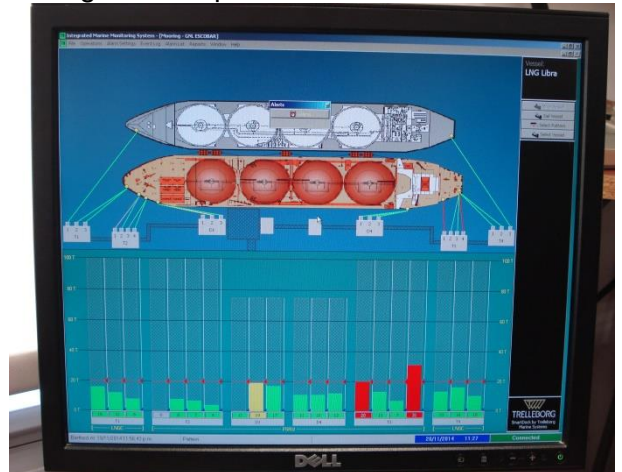


Figura 11 Ejemplo de aplicaciones informáticas destinadas al monitoreo y registro de las cargas en cabos de amarre

Como comentario final en este punto cabe señalar que actualmente se recomienda no trabajar con dispositivos de amarre que contengan bulones “fusibles” atento a que – a priori – se desconoce la carga aplicada al dispositivo al momento de su rotura. Seguramente esta carga será mayor que la capacidad última de los fusible, lo que se desconoce es cuanto mayor es.

Este tipo de fallas produce el desprendimiento repentino de un elemento pesado (bolardo) que originaría situaciones de riesgo para personas presentes en el lugar

3.3 Actualidad en las condiciones de navegación. El caso del incremento del tráfico y del pasaje de buques frente a las instalaciones en operación

Atento a las mismas consideraciones efectuadas en el punto 2.3 (incremento de la carga movida en la vía navegable) se identifica una mayor cantidad de buques navegando de forma “pasante” frente las obras portuarias en operación.

Con respecto al fenómeno de paso de embarcaciones frente a las instalaciones portuarias cabe mencionar que el efecto que el buque pasante introduce sobre el buque amarrado es de compleja cuantificación analítica, dependiendo fundamentalmente de:

- La velocidad del buque en navegación
- Las masas en flotación de ambos buques
- La distancia de paso entre ambos buques

A continuación se acompaña un ejemplo conceptual comparativo en referencia a las cargas actuantes en líneas de amarre de un buque operando en una instalación portuaria teniendo en cuenta la actuación de agentes ambientales y también el paso de embarcaciones, suponiendo campo de aplicación en nuestro sistema fluvial local

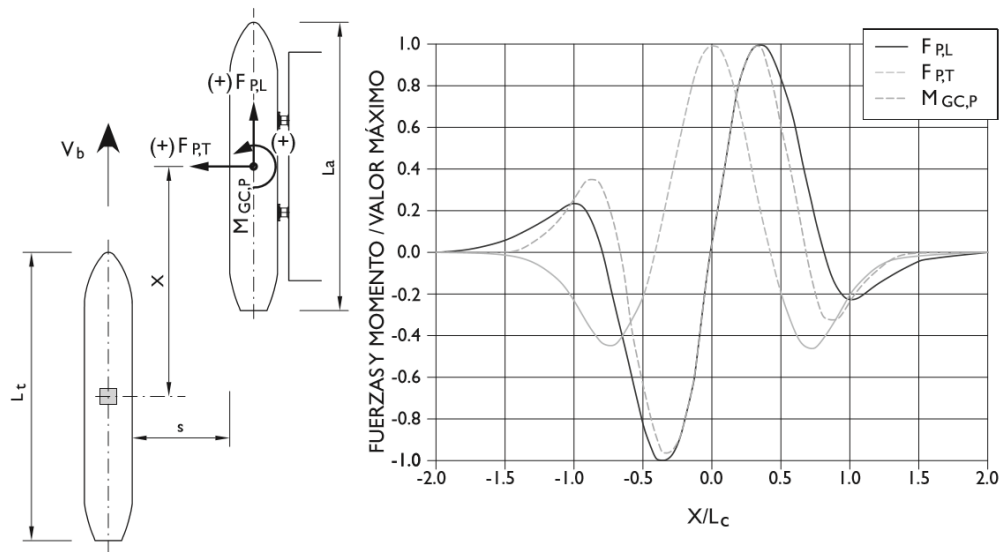


Figura 12: Modelo de cálculo aplicado para la determinación de las acciones de amarre producidas por el paso de embarcaciones en navegación frente a buques amarrados (fuente ROM 2.0-11 – John Flory)

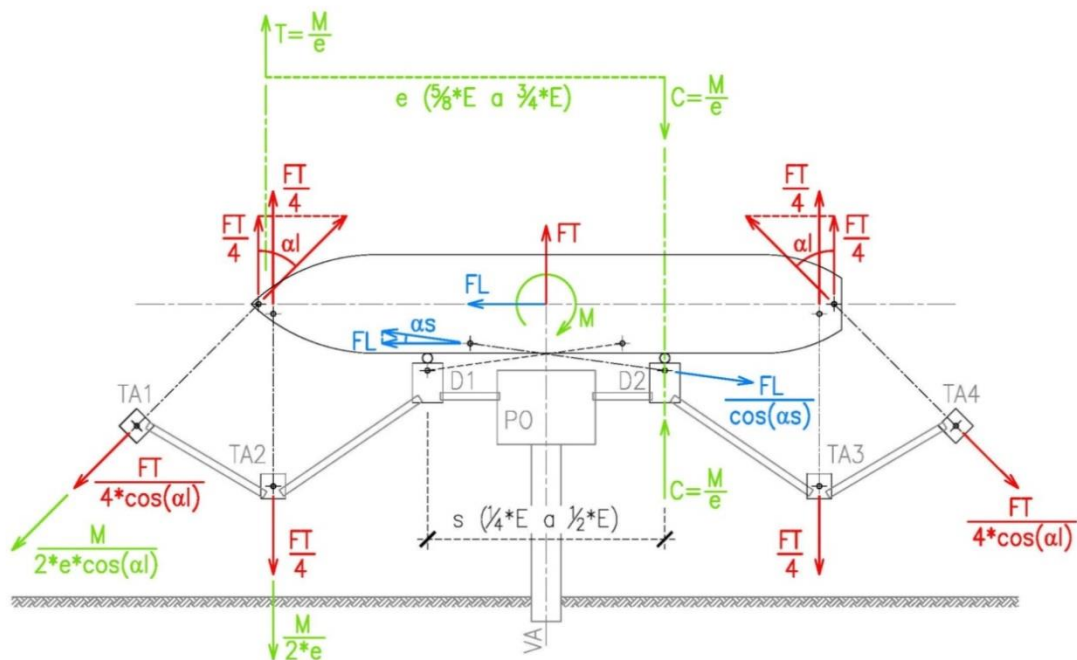


Figura 13: Modelo de cálculo aplicado para la determinación de cargas en cada una de las líneas de amarre con el objeto de proceder a la selección del dispositivo de amarre.

Tipo de línea	Agentes ambientales		Pasaje buques (D=200 m)			Pasaje buques (D=100 m)		
	ROM	OCIMF	- 0,5 E	0,0 E	+ 0,5 E	- 0,5 E	0,0 E	+ 0,5 E
Largo de proa	89.4	76.6	9.5	0.0	7.5	29.6	0.0	22.8
Través de proa	126.5	108.4	13.4	0.0	10.6	41.8	0.0	32.2
Spring de proa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Spring de popa	32.6	13.3	0.0	38.7	6.1	0.0	152.8	23.7
Través de popa	112.9	97.2	6.4	0.0	6.4	17.6	0.0	17.6
Largo de popa	79.8	68.7	4.5	0.0	4.5	12.4	0.0	12.4

Figura 14: tabla que permite visualizar los resultados en las líneas de amarre para el caso de actuación de agentes ambientales y de paso de embarcaciones. Obsérvese la importancia de seleccionar el dispositivo de amarre en función a la carga en cada línea y no solamente en función al tamaño (desplazamiento) del buque amarrado

4 CONCLUSIONES

- La permanente actualización tanto de recomendaciones de diseño como de tecnologías aplicadas a la fabricación de los sistemas de defensa y de los dispositivos de amarre invitan a una constante especialización en el ejercicio profesional de la ingeniería portuaria.
- En el caso de los sistemas de defensa para el atraque, la disponibilidad de nuevas formulaciones de diseño permite elaborar un análisis detallado que – cada vez más – se va “personalizando” a las particularidades cada problema a resolver.
- En el presente trabajo se ha ejemplificado como las nuevas tecnologías disponibles permiten afrontar las variaciones – en incremento – de las masas en flotación de la flota de diseño, proporcionando mayores capacidades de absorción de energía sin incrementar ni el tamaño de la defensa ni la fuerza reactiva. Aspecto importante en este último caso teniendo en cuenta la aplicación de nuevos materiales en el diseño de los cascos de los navíos con la consecuente afectación de las presiones de contacto admisibles a verificar.
- En el caso de los dispositivos de amarre la disponibilidad de nuevas formulaciones de diseño nos da la posibilidad de determinar de manera sencilla (cuasi estática) la carga que se aplicará en cada línea de amarre, tanto sea por agentes ambientales como por pasaje de otras embarcaciones en navegación, aspecto muy frecuente y relevante en nuestro sistema fluvial.
- El conocimiento de la carga aplicada a cada línea de amarre es de significativa importancia dado que, a partir de la misma, se determinan cantidades y características de cabos de amarre a efectos de verificar que las tensiones sobre los mismos no superen los valores recomendados (por ejemplo según OCIMF para buques petroquímicos).
- El conocimiento de esta carga es también de significativa importancia al momento de seleccionar la capacidad del dispositivo de amarre que vinculara a los cabos con la obra portuaria, adoptando siempre como concepto el evitar situaciones de rotura repentina, tanto del cabo de amarre como de los dispositivos vinculados a la estructura.

REFERENCIAS:

1. Recomendaciones para obras marítimas ROM 0.2-90 – Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias (1990)
2. Recomendaciones para obras marítimas ROM 2.0-11 - Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre (2012)
3. PIANC – Report nº 116 – Safety Aspects Affecting the berthing operations of tankers to oil and gas terminals (2012)
4. PIANC – Report of WG 33 – Guidelines for the design of fender systems (2002)
5. Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways EAU 2004
6. British Standards BS6349 – Code of Practice for Design of Fendering and Mooring Systems
7. OCIMF – Mooring Equipment Guidelines (1997)
8. OCIMF – Mooring Equipment Guidelines (2008)
9. Berthing Velocities and Brotsma's curves – Beckett Rankine Marine Consulting Engineers (2010)
10. The effect of passing ships on moored ships. Prevention First Symposium, California State Lands Commission. John Flory (2002)
11. Marine Systems Catalogue – Trelleborg (2011)
12. New Fender Systems Brochure – Trelleborg (2015)
13. Fender Application Design Manual – Trelleborg (2015)
14. Bollard Application Design Manual – Trelleborg (2015)
15. Docking & Mooring Systems – Trelleborg (2015)