

SEGURIDAD DEL BUQUE ATRACADO: INFLUENCIA DE LA FALTA DE SIMETRÍA EN EL AMARRE

Correa Ruiz, F. J.¹, Madariaga Domínguez, E.¹

¹Escuela Técnica Superior de Náutica, Universidad de Cantabria, Gamazo, 1. 39003 Santander, España

¹e-mail: francisco-correa@unican.es

RESUMEN

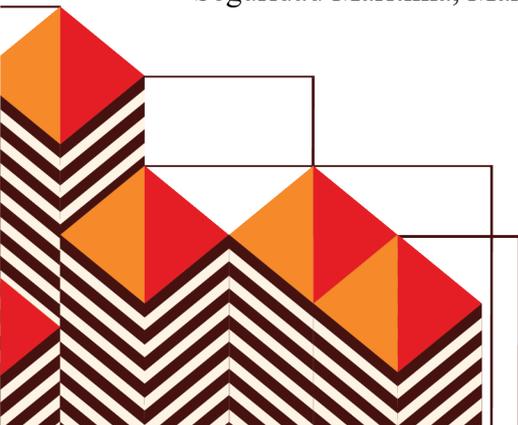
La Asociación Mundial para la Infraestructura del Transporte Marítimo (PIANC), explica que un buque atracado y amarrado se ve sometido a fuerzas externas debidas a los vientos, corrientes, oleajes, ondas estacionarias, mareas, buques en navegación y por las propias operaciones de carga. La importancia de los movimientos de un buque amarrado es trascendente, no tan sólo desde el punto de vista de la seguridad, también del rendimiento de las operaciones de carga.

El Foro Marítimo Internacional de Compañías Petroleras (OCIMF), nos explica en su Guía de Equipamiento para Atraques, versión cuarta (MEG4), como ha de ser el equipo de amarre de un buque y como éste debe ser amarrado con una disposición de los cabos simétrica con relación a la maestra del buque, para poder contrarrestar de manera adecuada las fuerzas anteriormente descritas. Las terminales suelen diseñarse para acoger el mayor rango posible de buques. No obstante, este rango se ve reducido notablemente si exigiésemos que el amarre de los buques cumpla con la condición de simetría requerida por la (OCIMF).

En este estudio, demostramos como la efectividad del amarre, cumpliendo los requisitos básicos establecidos en el MEG4, se ve notablemente mermado ante fuerzas externas similares, por la falta de simetría derivada de la inadecuación entre la disposición del amarre de la terminal y del buque.

Palabras clave

Seguridad Marítima, Maniobra, Fuerzas amarre, Efecto buque pasante, PIANC, OCIMF.



1- INTRODUCCIÓN

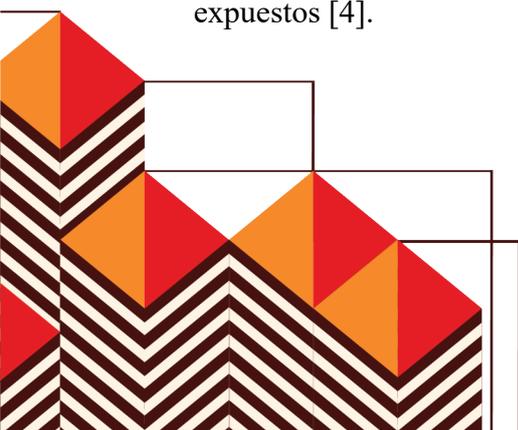
En este estudio, exponemos un caso real que ha sucedido en una terminal portuaria, durante el paso de un buque de gran obra muerta, necesitado de velocidad para mantener su gobierno, éste provocó que los cabos de un buque tanque amarrado y descargando un hidrocarburo rompiera sus estachas. En el estudio de las fuerzas generadas por el buque pasante concluimos que estas no eran suficientes para la rotura de los cabos en condiciones MEG4 y que ésta se debió a la falta de simetría en el amarre. Por este motivo, abordamos un análisis de la multiplicación de las fuerzas ejercidas sobre los cabos en el amarre debido a la falta de simetría de éste.

Entre los objetivos de esta comunicación, se encuentran el determinar las fuerzas ejercidas sobre los cabos de retención de un buque al paso de otro a lo largo de su costado. Además del estudio de la influencia de la disposición de amarre, los cabos empleados y la tensión de los mismos,

2- MATERIALES Y MÉTODOS

Un buque atracado y amarrado se ve sometido a fuerzas externas [1] debidas a los vientos, corrientes, oleajes, ondas estacionarias, mareas, buques en navegación y operaciones de carga [2]. Los buques se mueven con seis grados de libertad. Tres son lineales, en el sentido longitudinal (x) “avante o atrás”, transversal (y) y vertical (z). Tres son angulares, con relación al eje longitudinal, los balances del buque a una u otra banda; al eje transversal, las cabezadas; y con relación al eje vertical, las guiñadas, que hacen que la proa se desvíe hacia uno u otro costado (babor y/o estribor) [3].

La importancia de los movimientos de un buque amarrado es trascendente, no tan sólo desde el punto de vista de su seguridad sino también del rendimiento, eficiencia, en las operaciones de carga y/o descarga. De esta manera, un buque tanque atracado no debería poder moverse más de tres metros tanto en el sentido longitudinal como transversal, pudiendo llegar a cinco metros en lugares expuestos [4].



Cuando un buque en navegación pasa cerca de otro buque amarrado, el segundo experimenta fuerzas y momentos que causaran que éste se mueva [5]. El efecto del buque en navegación sobre el buque amarrado podemos dividirlo en tres componentes [6]: succión, estela y, en el caso de geometrías no uniformes, oscilaciones portuarias [5], [7], [8].

En la Figura 1, representamos la distribución de presiones alrededor del buque, además del efecto estela. Mientras que el buque avanza, el agua se desplaza desde su proa hasta la parte posterior de su popa. En la proa [9], [10] se produce un campo local de alta presión, representado en rojo, y la mar experimenta una elevación, esto sucede al ser comprimida el agua por el buque a su paso. El agua fluye por ambos lados del buque y converge en su popa, donde crea otra zona de altas presiones.

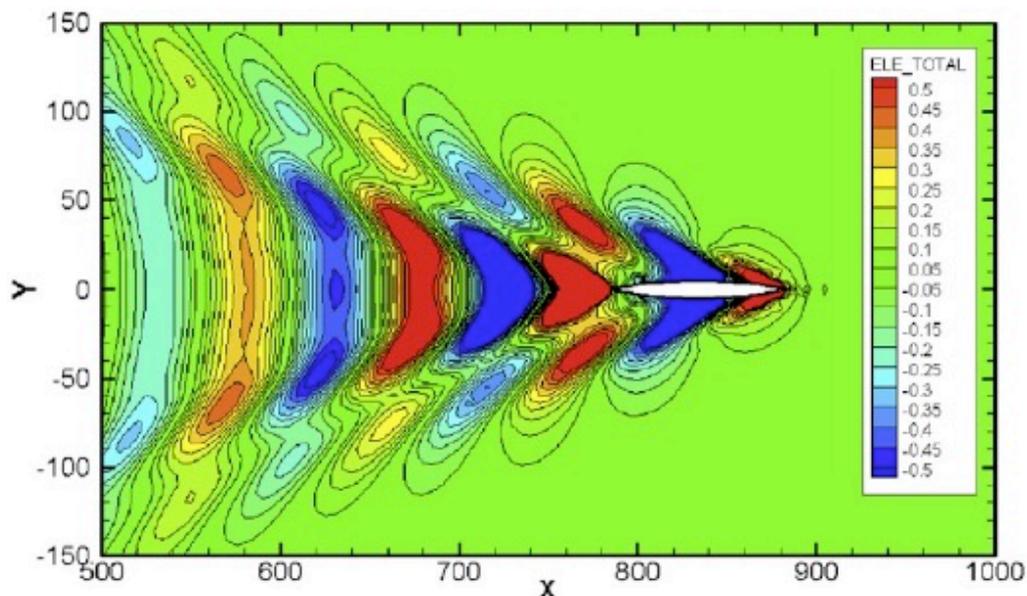
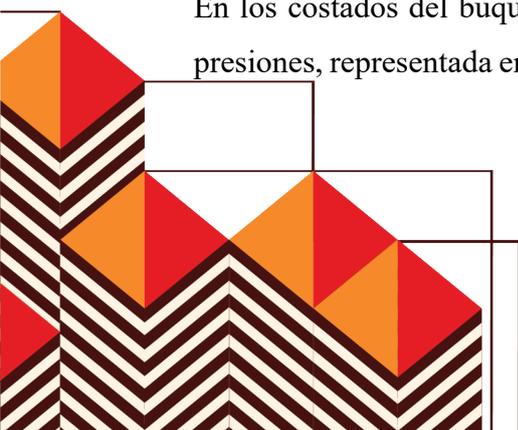


Figura 1: Generación del efecto de succión y estela en navegación, según Nam y Park.

En los costados del buque [11], la aceleración de las partículas de agua crea un campo de bajas presiones, representada en color azul, y una depresión en el nivel del mar. De esta manera, existirán



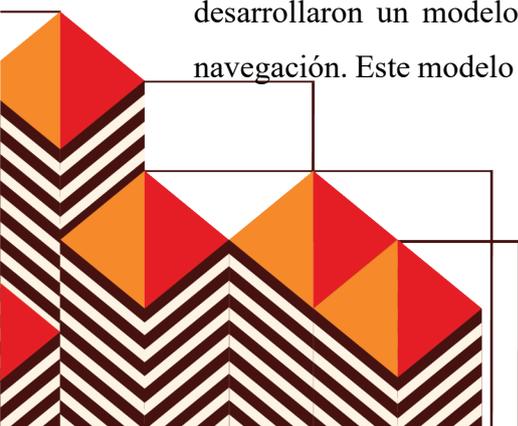
gradientes entre los diferentes niveles de agua. Otro buque, en la vecindad del buque en navegación, experimentará una fuerza que le empuja en la zona de altas presiones y una succión hacia la zona de bajas.

Los rojos representan zonas de altas presiones, donde los buques próximos serían repelidos, y los colores azules las zonas de bajas presiones, donde otros buques se verían succionados. Los ejes x e y están en metros. Esta distribución de presiones dependerá de las formas del buque, de su casco sumergido, en navegación. Cuánto más cúbico, menos fino, sea el buque, mayor será la altura del agua generada a proa, además de existir un desfase en la distribución de las presiones en función de estas formas [11].

El primero en describir matemáticamente la estela de un buque fue William Thomson, Lord Kelvin. La estela de los buques se forma mediante la combinación de olas divergentes, a ambos lados del buque en navegación, y olas transversales que viajan detrás del buque. Ambas olas se superponen formando crestas y una línea envolvente. La estela causa unas ondas muy cortas en comparación con las ondas de succión y, de esta manera, su efecto es menor sobre los grandes buques, este es solo significativo a grandes velocidades de paso [12].

Los estudios de las fuerzas ejercidas por el buque en navegación sobre el buque amarrado se han centrado en los grandes buques tanque y graneleros, debido a su tamaño, puesto que la masa del buque pasante es determinante.

El primero en realizar estos estudios fue Remery [13]. Para sus investigaciones desarrolló un modelo físico. Varió el tamaño del buque en navegación, su velocidad y distancia de paso; manteniendo constante la ratio entre el calado y la profundidad, el tamaño del buque amarrado y su rumbo. Remery concluyó que la tensión de las amarras tiene un considerable efecto sobre las fuerzas, de manera que unas amarras bien tensionadas soportarán menores fuerzas, provocadas por el buque en navegación. Un año después, a partir de un modelo físico, Muga y otros [14] desarrollaron un modelo teórico para poder deducir las fuerzas ejercidas entre dos buques en navegación. Este modelo no consideraba la distancia de la quilla al fondo del mar. Muga estableció



que las fuerzas ejercidas sobre el buque amarrado decrecían con el incremento de la distancia de separación, con la disminución de la velocidad y el incremento del agua bajo la quilla y que se incrementaban con el tamaño del buque.

En estos 50 años, desde el inicio de este tipo de estudios motivado por el incremento notable del tamaño de los buques, se han desarrollado diferentes modelos semi-empíricos, empíricos y numéricos, para el cálculo de las fuerzas que nos ocupan.

Entre los modelos semi-empíricos, deducción de fórmulas a partir de un marco teórico, pero ajustadas con factores derivados de la experimentación, están los modelos de Wang y Seelig, de Wang y Kriebel [2], y el de Varyani y Vantorre [15].

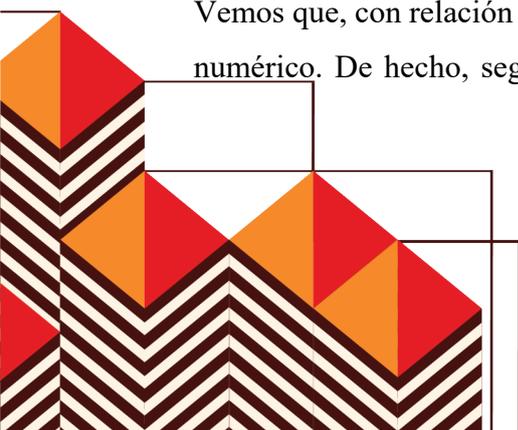
Los dos modelos empíricos, basados exclusivamente en la observación de prototipos o en la medida de modelos físicos, son el de Kriebel y el de Flory [9], [15], [16].

Finalmente, están los modelos numéricos, los cuales simplifican la dinámica real de los fluidos alrededor de los cascos de los buques, con el objetivo de disminuir los tiempos de computación.

En los modelos numéricos, el casco de los buques, en 3 dimensiones, es reconstruido de la manera más fiel posible, basándose éstos en la teoría del flujo potencial, para desarrollar las ecuaciones y los modelos numéricos que las resuelven, entre estos modelos cabe citar el de Passcat y ROPES.

Swiegers [17], generando un total de 43 escenarios diferentes, mediante un modelo físico en un canal, combinando las diferentes variables que determinan estas fuerzas, ha comparado la fiabilidad de los modelos citados, estableciendo qué los que mejor ajustan los resultados a la realidad son el modelo numérico de Passcat y el empírico de Flory. Nosotros, al no tener suficiente información para generar modelos en 3 dimensiones de los cascos de los buques, vamos a emplear el modelo de Flory para nuestros cálculos. En la Tabla 1, exponemos las comparaciones entre los diferentes modelos citados desarrollados por Swiegers en 2011 y que han servido para la generación de sus modelos por estos autores en la realización de este estudio.

Vemos que, con relación a las fuerzas longitudinales, el modelo empírico de Flory es mejor que el numérico. De hecho, según Swiegers, el modelo de Flory se demuestra muy apropiado para el



cálculo de las fuerzas longitudinales para cualquier velocidad, con distancias de paso superiores a una manga, ratios inferiores a 1,7 entre la profundidad y el calado y en canales con una anchura superior a seis veces la manga del buque amarrado.

Tabla 1: Diferentes modelos estudiados por Swiegers en 2011.

Variable	Fuerza	Modelo empleado					
		Kriebel	Flory	Wang Seelig	Wang Kriebel	Varyani Vantorre	Passcat
Velocidad	<i>Longitudinal</i>	5	2	1	6	3	4
	<i>Transversal</i>	1	2	4	3	6	5
	<i>Guiñada</i>	2	1	6	5	4	3
Distancia de paso	<i>Longitudinal</i>	6	3	1	5	4	2
	<i>Transversal</i>	2	1	4	6	5	3
	<i>Guiñada</i>	1	4	6	5	3	2
Relación profundidad - calado	<i>Longitudinal</i>	5	3	2	6	4	1
	<i>Transversal</i>	2	6	4	3	5	1
	<i>Guiñada</i>	1	4	6	5	3	2
Canal	<i>Longitudinal</i>	5	1	2	6	3	4
	<i>Transversal</i>	5	4	3	6	2	1
	<i>Guiñada</i>	1	3	6	5	4	2
Nota: 1 = Mejor ajuste 6 = Peor ajuste							
Calificación combinada	<i>Longitudinal</i>	21	9	6	23	14	11
	<i>Transversal</i>	10	13	15	18	18	10
	<i>Guiñada</i>	5	12	24	20	14	9
Total		36	34	45	61	46	30

En los cálculos de las fuerzas transversales es bueno para cualquier condición, excepto para el caso de canales, donde el valor obtenido es superior al real. Con relación al cálculo de los momentos, el



modelo se demuestra bueno para velocidades comprendidas entre 4 y 14 nudos, distancias de paso entre una y dos mangas, cualquier condición de calado y canales de anchura superior a 6 veces la manga del buque amarrado.

2.1- Cálculo de las tensiones de los cabos

Métodos documentados para el cálculo de las tensiones de los cabos existen pocos, dada la complejidad del mismo. El primero, probablemente sea el método recomendado por la marina de guerra norteamericana en 1987 [12], el cual solo puede ser aplicado para el cálculo de las tensiones transversales, siempre y cuando la disposición del amarre sea completamente simétrica[18], [19].

Nosotros hemos aplicado el método matricial de la rigidez. Este consiste en analizar los desplazamientos experimentados por el buque debido a las fuerzas externas calculadas. Partimos de los seis grados de libertad del buque, que hemos simplificado a los tres referidos, el cual queda sujeto, mediante un número finito de elementos, cabos y defensas, a un muelle rígido e inamovible. Hemos establecido un sistema de referencia único para localizar los nodos, extremos de los elementos finitos, cabos y defensas, en los que se fundamenta el análisis [5], [7], [11], [20].

Determinaremos las propiedades fuerza-desplazamiento de cada elemento para relacionarlas entre sí mediante ecuaciones de equilibrio planteadas en los nodos. Esas relaciones, para todos los miembros de la estructura, se agrupan en una matriz de rigidez. Una vez establecida esta, los desplazamientos desconocidos de los nodos los determinamos para las cargas externas ejercidas sobre el buque. Conocidos los desplazamientos, podemos relacionar fuerza y desplazamiento para cada miembro [10], [12], [18].

2.2- Determinación de variables

La fuerza que ejerce el buque en navegación a su paso frente al costado del buque atracado depende de las siguientes variables [9], [19]:



- Las características de ambos buques y la relación entre sus esloras y desplazamientos.
- La sonda de agua disponible con relación al calado de los buques.
- La velocidad de paso del buque que navega.
- La distancia de paso, más concretamente, la ratio entre ésta y la eslora característica (eslora media) de los buques.
- El ancho del canal.

Estas variables serán tratadas de acuerdo con las ecuaciones de Flory. Este autor considera un factor de escala, otro factor que estima la relación entre el calado de los buques y la distancia al fondo de sus quillas, el cuadrado de la velocidad del buque pasante, el logaritmo de la ratio entre los desplazamientos de los buques implicados, pasante y atracado, y el cociente entre la distancia de paso y la eslora característica.

3- RESULTADOS

Lo resultados obtenidos para el caso estudiado se presentan a continuación. El buque amarrado lo estaba con cuatro largos y dos esprines a proa y dos esprines, dos traveses y dos largos a popa, en una primera situación, para después reforzar con dos traveses más a popa. Analizamos estos dos supuestos y el caso de que el buque estuviera perfectamente amarrado con cuatro traveses y dos esprines, tanto a proa como a popa, perfectamente simétricos con relación a un eje que pasara por mitad de la eslora del buque y cuaderna maestra.

La narración de la fuerza longitudinal ejercida por el buque pasante sobre el atracado sería la siguiente: aproximadamente a unas 2 esloras características de distancia (-2), entre sus centros longitudinales, el buque atracado comenzaría a experimentar una ligera fuerza positiva, esto es, de movimiento en la dirección de su proa, la misma dirección de avance del buque pasante.

Esta fuerza se mantendría hasta que la distancia se redujese a -1,1 esloras, momento en el cual cambiaría la dirección del empuje, ahora el buque atracado se vería impulsado, en el sentido longitudinal, en la dirección de su popa. De manera que, cuando la distancia fuese de -1 esloras



características, cuando la proa del buque pasante hubiese sobrepasado ligeramente la popa del buque atracado, este último estaría experimentando una fuerza longitudinal en el sentido de su popa con un valor próximo al 20% de la fuerza longitudinal máxima.

El máximo sucedería en, $-0,5$, cuando la proa del buque pasante estuviese a la altura del centro longitudinal del buque atracado. En estos instantes, el buque atracado experimentaría la máxima fuerza longitudinal en dirección opuesta al movimiento del pasante. Esta fuerza iría disminuyendo hasta que los buques estuvieran paralelos, prácticamente proa con proa y popa con popa, momento en que se anularían las fuerzas. Ahora éstas, cambian de sentido y empujan al buque atracado en la dirección de su proa, alcanzando el máximo, cuando el centro longitudinal del buque pasante alcanza la proa del atracado, $+0,5$. A partir de este momento, aun siendo en el mismo sentido, la fuerza longitudinal decrece hasta hacerse cero en el instante en que la popa del buque pasante sobrepasa ligeramente la proa del buque Atracado, $+1,1$.

Por el contrario, la fuerza transversal comienza a sentirse levemente cuando la distancia entre los centros longitudinales de los buques es igual a 2 esloras características, -2 . Esta comienza a incrementarse, de manera que el empuje del buque amarrado hacia el muelle va aumentando, en -1 , cuando la proa del pasante alcanza la popa del amarrado, esta fuerza supera el 40% del máximo. En $-0,8$, la proa del pasante sobrepasa la habilitación del atracado, la fuerza transversal alcanza el primer máximo valor negativo. Cuando la proa del buque en navegación rebasa la medianía de la eslora del buque amarrado, cesa el empuje transversal hacia el muelle de este último, recordemos que en este instante se manifiesta la máxima fuerza atrás longitudinal. A partir de este momento, la fuerza ejercida por el pasante es succionante, atrayendo el costado del atracado, tendiendo a separar al buque amarrado del muelle. Al estar los dos buques a la misma altura, proa con proa, sucede la máxima fuerza transversal positiva. A partir de ahora la fuerza transversal positiva decrece en su valor, anulándose en $+0,6$. Una vez alcanzado un nuevo máximo negativo, al sobrepasar la popa del buque en navegación a la proa del atracado, la fuerza transversal se mantiene



en pequeños valores negativos decrecientes, empujando lateralmente el costado del buque amarrado hacia el muelle.

Los momentos harán girar el buque atracado, los pares de fuerza sobre el eje vertical del buque, girarán su proa o popa, haciéndole guiñar hacia el muelle o alejándolo de éste. Se considera que el momento es positivo cuando el giro de la proa aleja a la misma del muelle, acercando la popa al mismo.

Seguidamente, exponemos los resultados obtenidos para diferentes supuestos. Las gráficas están basadas en el cálculo de las fuerzas, al paso de un buque en navegación, usando exclusivamente el método de Flory y suponiendo el amarre señalado anteriormente. El resultado sobre los cabos sería de la composición de las fuerzas longitudinales, transversales y los momentos de giro descritos.

Numeramos los cabos de proa a popa, de manera que el cabo número 1 estará en el extremo de proa, hasta el 4 en proa; 5 y 6 serán los esprines de proa, 7 y 8 los de popa, 9 y 10 los traveses de popa, hasta llegar al 14, que será el largo de más a popa, tal como muestra la Tabla 2.

Tabla 2: Tensión en toneladas, soportada por los largos de proa del buque atracado al paso del buque en navegación.

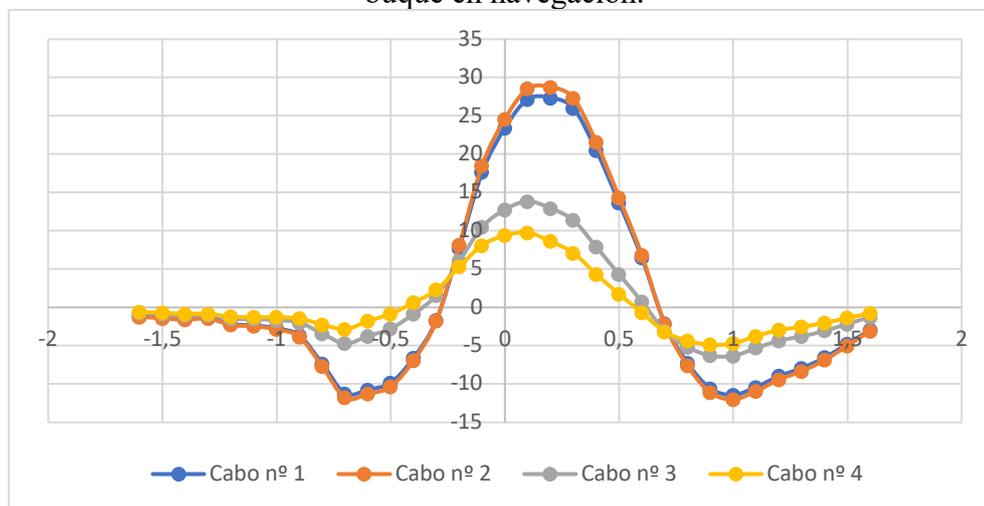


Tabla 3: Tensión en toneladas, soportada por los esprines del buque amarrado.

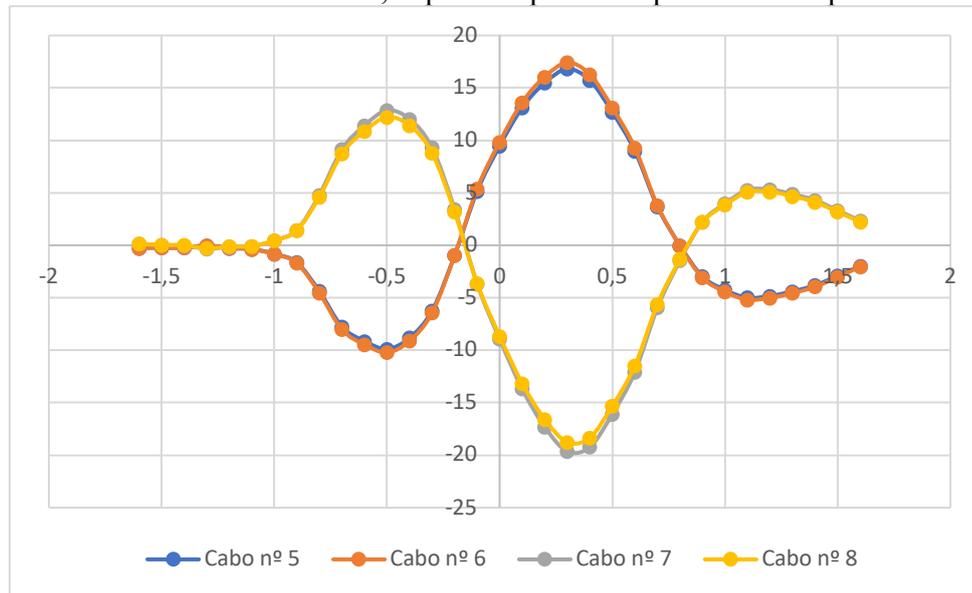


Tabla 4: Tensión en toneladas, soportada por los traveses y largos de popa del buque amarrado.

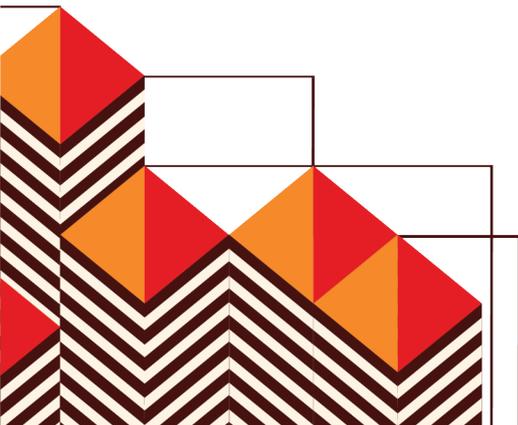
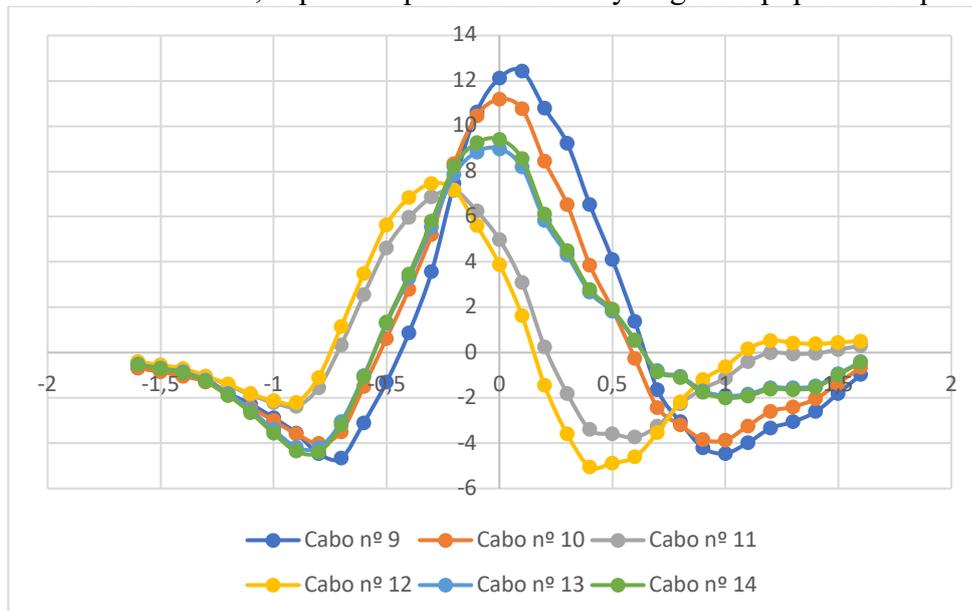


Tabla 5: Porcentaje sobre la carga máxima de trabajo experimentada por cada uno de los cabos.

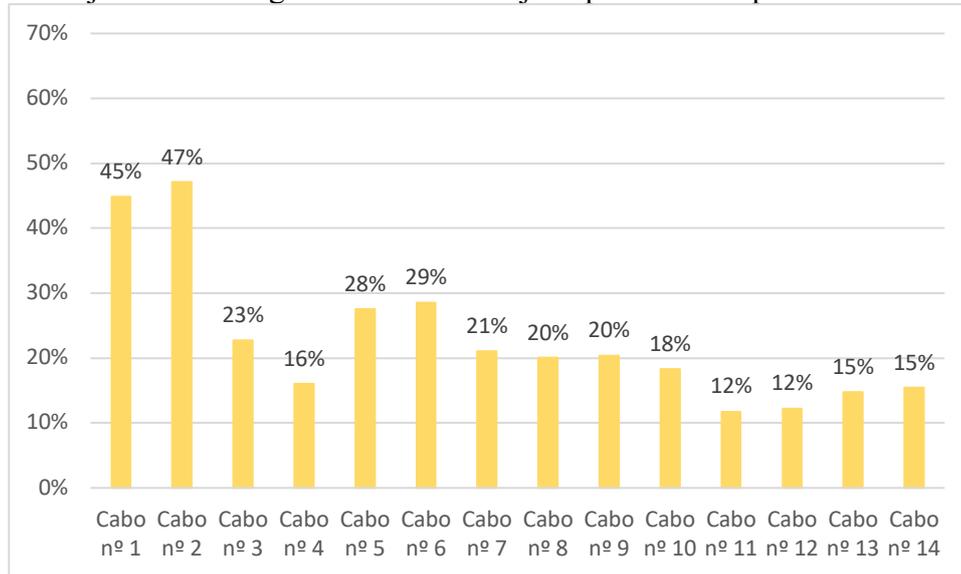


Tabla 6: Cargas máximas soportadas por los cabos, aplicando Flory y con 12 cabos.

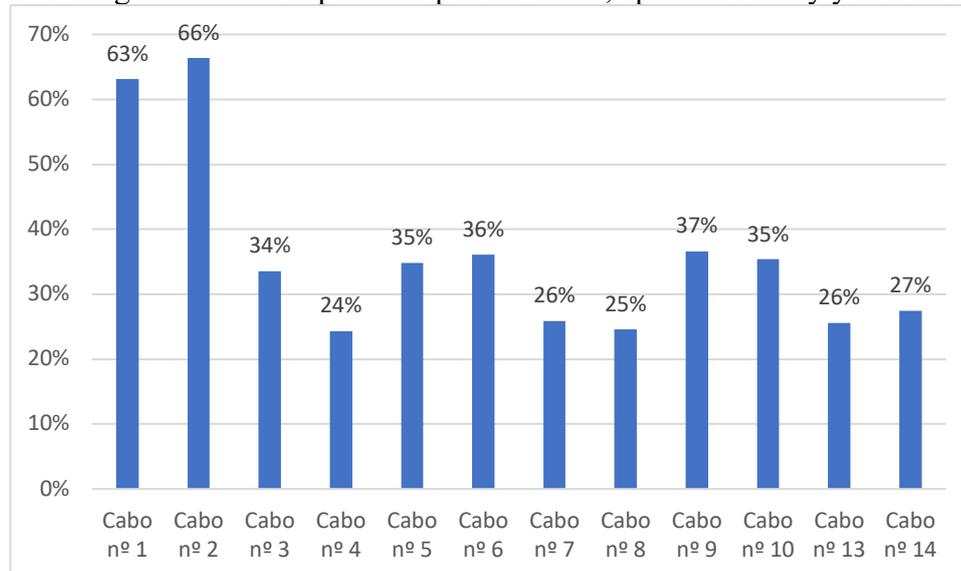
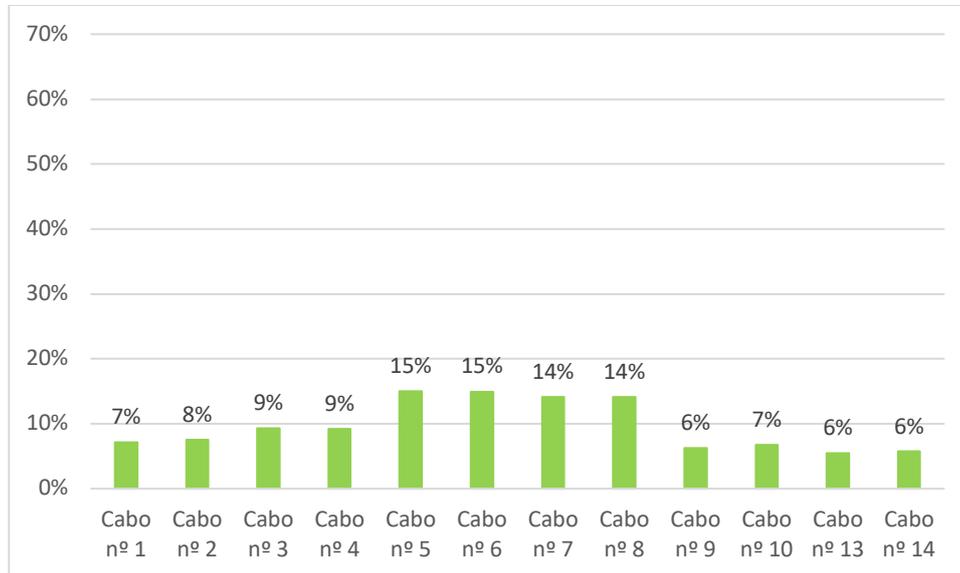


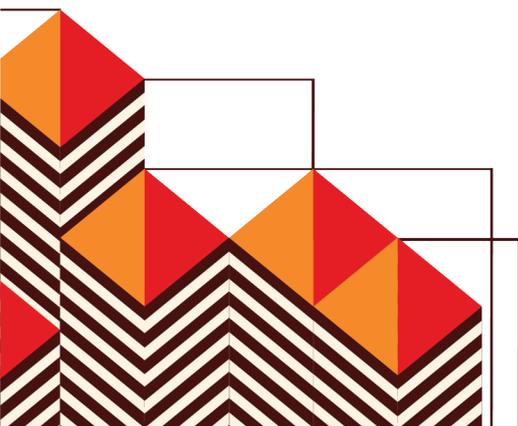
Tabla 7: Tensiones soportadas por los cabos si el buque hubiese estado amarrado de manera simétrica de acuerdo con la OCIMF.



Vemos que los cabos que experimentan una mayor tensión son los dos largos de proa, alcanzando uno de ellos el 47% de su carga de rotura, Tabla 5, para una disposición no simétrica de 14 cabos, pudiendo ser del 66% de esta carga de rotura, Tabla 6, si el amarre fuese con 12 cabos. Por el contrario, los esprines, los cabos 5 y 6, en este supuesto, soportaron un 28,54% de su carga de rotura, un 36% en el caso de una disposición con 12 cabos.

En las Tablas mostradas, presentamos las fuerzas calculadas para todos los cabos durante el amarre al paso de un buque en navegación a una distancia de 1 manga. El buque tiene una gran obra muerta, navega a 6 nudos y tiene la misma eslora que el buque atracado, aunque un calado y un desplazamiento inferior.

En las Tablas 2, 3 y 4, mostramos la tensión calculada para los largos de proa, los esprines y los largos y traveses de popa, respectivamente, en un amarre con 14 cabos.



En las Tablas 5, 6 y 7, mostramos la tensión soportada por estas estachas, comparando un amarre no simétrico con 12 y 14 cabos, con un amarre simétrico con solo 12 cabos. Cabe destacar, tal como se muestra en la Tabla 7, que con la simetría del amarre (con relación al centro longitudinal del buque) las fuerzas soportadas por los cabos son hasta 10 veces inferiores que con un modelo da amarre no simétrico.

5- CONCLUSIONES

Es evidente que la conclusión final y obvia es que un amarre simétrico, con relación a la cuaderna maestra del buque, nos garantiza que los esfuerzos experimentados por los cabos son ostensiblemente inferiores que, con un amarre con igual número de cabos, incluso superior, si este no observa la citada simetría.

Sin entrar en el detalle del caso que nos ocupa, de la rotura de cabos debido a la falta de tensión de los mismos, lo que facilitó el movimiento del buque, de unicidad en los pares de cabos, lo que implicó la falla del más débil, y la falta de mantenimiento de éstos, lo que implicó que los cabos partieran con una tensión igual a la mitad de su carga de rotura, vemos que debido a un incumplimiento de las normas básicas sobre las condiciones de amarre establecidas en el MEG4. Advertiendo de la necesidad de sistema automático de desacoplamiento del brazo de carga (ERS), acorde con las especificaciones de la OCIMF, para el aminoramiento de las consecuencias y, por consiguiente, del riesgo.

Deseamos subrayar que los cabos del buque estudiado, llegaron a soportar unas tensiones hasta 10 veces superiores debido a la falta de simetría del amarre, tal como podemos deducir comparando las Tablas 5 y 6, disposición del amarre con 12 o 14 cabos no simétricos con relación a la mediana longitudinal del buque, con la Tabla 7, atraque simétrico con 12 cabos. Por este motivo, es necesario remarcar la necesidad de observar la mayor simetría posible de los cabos en el amarre del buque.



Las terminales portuarias han de ser diseñadas con simulaciones previas de los esfuerzos que soportaran los cabos de los buques en función de las esloras de éstos que determinaran el tipo de amarre, su simetría o no, para adoptar las medidas oportunas en cuanto al emplazamiento de los ganchos de amarre en las mismas.

Sería recomendable equipar a todas las terminales portuarias con dinamómetros que nos indiquen en todo momento, en tiempo real, las tensiones que soportan las amarras, incluso sensores meteo-oceanográficos, lo cual permitirá la evaluación de las fuerzas soportadas por las estachas de los buques. Finalmente, hacer hincapié en la gran ventaja que supone el disponer de ERS en todo tipo de terminales donde se manipulen graneles líquidos, principalmente si estos son hidrocarburos o sustancias nocivas líquidas a granel.

6- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OCIMF, *Mooring Equipment Guidelines (MEG4)*, 4th Editio. London: Oil Companies International Marine Forum, 2018.
- [2] Kriebel, D. “Mooring loads due to parallel passing ships,” in *Ports 2007: 30 Years of Sharing Ideas 1977-2007; Proceedings of the Eleventh Triennial International Conference*, 2007, p. 46.
- [3] Journée, J. M. J. y Massie, W. W. (2001). Offshore hydromechanics.
- [4] PIANC, “Guidelines for the design of armoured slopes under open piled quay walls,” *Pianc*, vol. 96, 1997.
- [5] Smith, E.; Pinkster, J. A. y Tschirky, P. “Modeling passing vessels and moorings in port design and operation,” *Ports 2010 Build. Past, Respect. Futur. - Proc. 12th Triannual Int. Conf.*, pp. 293–302, 2010.
- [6] International Chamber of Shipping; OCIMF; IAPH, *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals.*, no. Sixth Edition. London, 2020.
- [7] Seelig, W. N. “U.S. Navy ship mooring practices - Design, construction, inspection, maintenance,” in *Ports 2001: America’s Ports - Gateways to the Global Economy - Proceedings of the Ports 2001 Conference*, 2004, vol. 108.
- [8] Pinheiro, L.; Fortes, C. J.; Santos, J. A. y Rosa-Santos, P. “Numerical simulation of the motions and forces of a moored ship in Leixões harbour,” in *Proceedings of 3rd International Conference on Maritime Technology and Engineering, MARTECH 2016*, 2016, vol. 1, pp. 217–226.

- [9] Flory, J. F. "A method for estimating passing ship forces," in *Ports 2001: America's Ports - Gateways to the Global Economy - Proceedings of the Ports 2001 Conference*, 2004, vol. 108.
- [10] Wictor, E. y Van Den Boom, H. J. J. "Full scale measurements of passing ship effects," *PIANC World Congr*, p. 14, 2014.
- [11] Nam B. W. y Park, J. Y. "Numerical simulation for a passing ship and a moored barge alongside quay," *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 10, no. 5, pp. 566–582, 2018.
- [12] Department of the Navy, *DDS 582-1 Calculations for Mooring Systems*. Washinton, DC, 1987.
- [13] Remery, G. F. "Mooring forces induced by passing ships," in *Proceedings of the Annual Offshore Technology Conference*, 1974, vol. 1974-May, pp. 349–358.
- [14] Muga, B. J. y Fang, S. J. (1975, May). Passing ship effects-from theory and experiment. In *Offshore Technology Conference*. OnePetro.
- [15] Varyani K. S. y Vantorre, M. "New generic equation for interaction effects on a moored containership due to a passing tanker," *J. Sh. Res.*, vol. 50, no. 3, pp. 278–287, 2006.
- [16] Farmer, A. L.; Whitsel, R. D. y Hasan, M. R. "Unified facilities criteria program and UFC 4-152-01 design: Piers and wharves," in *Ports 2019: Port Engineering - Papers from Sessions of the 15th Triennial International Conference*, 2019, pp. 715–722.
- [17] Flory, John F. "The effect of passing ships on moored ships." *Prevention First 2002 Symposium*. 2002.
- [18] Da Costa González, D. "Estudio paramétrico de las fuerzas en sistemas de amarre para buques amarrados en puertos.," Universidad do Porto, 2006.
- [19] Santos, J. A. *et al.*, "Physical modelling of motions and forces on a moored ship at the leixões port," *Defect Diffus. Forum*, vol. 396, pp. 60–69, 2019.
- [20] Schuetz, D. P.; Robbins, D. B.; Schuman, P. M. y Kelly, D. J. "Investigation and initial stability analysis of a wharf on severely deteriorated steel H-piles," *Ports 2019 Port Eng. - Pap. from Sess. 15th Trienn. Int. Conf.*, pp. 273–283, 2019.

