

IMPACTO DEL BUQUE SOBRE INSTALACIONES FIJAS,

UN PROBLEMA DE RIESGO

Por: **Ing. José Ángel Mijares Peñaⁱ**

Diciembre 2016

A continuación se describe la problemática que aparece en el análisis del impacto de embarcaciones contra la estructura de los muelles. Se revisó brevemente un procedimiento para determinar la magnitud del impacto y la influencia de las fuerzas hidrodinámicas en el choque. Por último se expone, en caso de averías, cómo comparar los costos de las diferentes soluciones y los gastos producidos, para encontrar qué estructura será la más económica.

Sin embargo, este problema se relaciona con otros dos. El primero se refiere a la probabilidad de que un buque quede fuera de control en las inmediaciones del atracadero y la elección del nivel de riesgo que debe adoptarse, acompañado por medidas regulatorias del tráfico acuático y por sistemas de señalización que reduzcan el riesgo al mínimo.

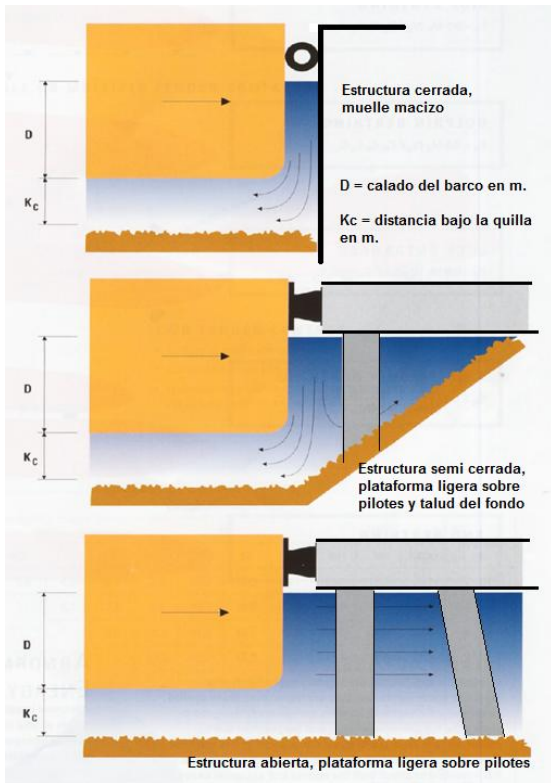
El segundo problema se refiere a la defensa real de la estructura del muelle para que no se produzcan roturas de la misma y del buque; lo cual requiere de costosos mecanismos para defensa ante la acción del choque.

En materia portuaria, se ha dedicado considerable atención al estudio del impacto de embarcaciones contra las

instalaciones fijas, existe abundante estadística que muestra el incremento considerable en el número e importancia de las colisiones de embarcaciones contra objetos fijos (muelles, duques de alba, pilotes de amarre, etc). Una de las causas de este incremento se encuentra en la tendencia a la construcción y diseño de buques cada vez más grandes y capaces de movilizar mayores cargamentos y la tendencia de aumento considerable del tráfico acuático.

Es de suponer que esto produzca un aumento de los accidentes por choques de buques en las estructuras de los puertos, cuyo resultado se traduce en posibles pérdidas en vidas humanas y representan también pérdidas económicas.

Abordando el proceso de la maniobra de atraque, parece evidente que no es lo mismo atracar a un robusto muelle macizo, que hacerlo a una estructura ligera sobre pilotes. Estas situaciones extremas no son aceptables. Ni el primer muelle debe abusar de su masa oponiéndola al buque para protegerlo de serias averías, ni el segundo confiarse en tal manera de su flexibilidad que llegue a sobrepasar la capacidad de protección mediante dicha flexibilidad.



La relación de la masa del buque a la instalación fija a la cual se aproxima, ha crecido, transformando el típico espectáculo de la arribada del buque al puerto en el serio problema de atraque.

Un buque descontrolado puede provocar accidentes graves, como cuando la nave se estrella contra el muelle o aborda a otros buques. Si bien estas embarcaciones suelen tener velocidades bajas, de alrededor de 40 km/h como máximo, su peso supera las 100.000 t, lo que da una capacidad destructiva descomunal.

La energía del impacto depende del peso del buque y del cuadrado de la velocidad que lleva. Es así como una nave que pese, por ejemplo 10 t, al chocar libera una energía 10 veces mayor que una nave con

solo 1 t de peso. Pero es la velocidad la que influye aún más en la destrucción por impacto.

A tales efectos debe tenerse en cuenta que: a) el buque cuesta más que el muelle; b) el bien común se ve más afectado por averías en el muelle que en el buque, y c) el buque se repara antes y con mayor facilidad

Para resolver los problemas técnicos de los daños en estructuras o instalaciones fijas para atraque de los buques, los ingenieros especialistas en técnica portuaria, calculan en definitiva el trabajo desarrollado por una fuerza, constante o variable a lo largo de un desplazamiento, bien sea éste horizontal, vertical o la combinación de ambos. Estos resultados llevan a introducir sistemas de defensas, más o menos eficaces o complicados, pero que tienden a encarecer su implantación, en función de su perfección.

El planteamiento del problema comienza con la expresión, puesta de manera sencilla en la forma:

$$E = C \frac{(M1+M2) Vn^2}{2g}$$

Donde E es la energía del buque (t.m) que debe absorber la estructura y defensas, M1 es la masa de desplazamiento del buque (tonelaje de desplazamiento) M2 masa hidrodinámica del buque (tonelaje del agua, por debajo de la línea de flotación que acompaña al buque en su

movimiento hacia el muelle) y “v” la velocidad (componente normal al muelle: $v_n = v \sin \alpha$) en el momento de atraque del buque (m/s) el valor “g”, es la aceleración de gravedad (9.8 m/s²). Factor de excentricidad C es un coeficiente menor que la unidad y que toma en cuenta factores como: posición del centro de gravedad del buque, la elasticidad del casco y las vibraciones del mismo.

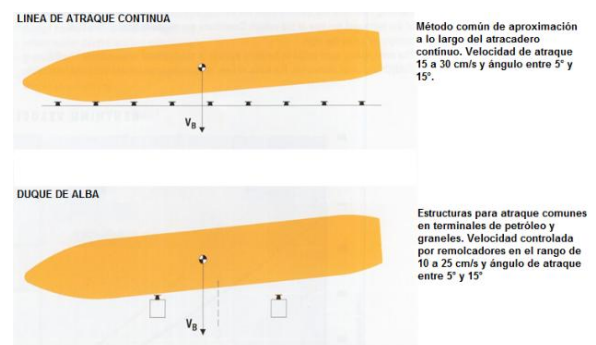
Si la maniobra de atraque es inclinada, el intercambio de energía está influenciado por: el ángulo del eje longitudinal del buque con la línea horizontal de la instalación fija; la posición del centro de gravedad del buque con respecto al de la línea de contacto; la longitud de la línea de atraque con relación a la eslora del buque; la profundidad de agua bajo la quilla; y las características elásticas del casco, del sistema de defensas y del propio muelle.

Otros dos factores de suma importancia que intervienen, son la masa de agua o tonelaje de desplazamiento (DT) aprisionado entre el buque y la instalación fija, en el caso de que ésta sea una estructura maciza; y la masa hidrodinámica, para el caso de que la estructura del muelle sea abierta.

En el primer caso, se ejerce el frenado sobre el buque y se experimenta disminución de la energía, y en el segundo caso, aparece un impulso de la energía que se suma a la energía que trae

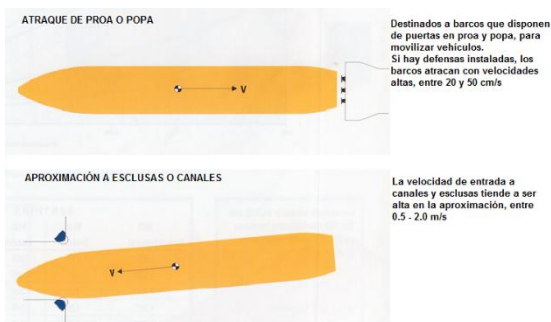
el buque. El valor del coeficiente generalmente es $C = 0,5$. Sin embargo, en la figura de la página 2, para estructura cerrada $K_c/D < 0,5$ $C=0,8$ y $>0,5$ $C=0,9$, en estructura semi-cerrada para $K_c/D < 0,5$ $C=0,9$ y $>0,5$ $C=1,0$. Para estructura abierta $C= 1,0$

Durante la maniobra de atraque del buque, sin la ayuda de remolcadores, debe mantenerse una velocidad absoluta propia mínima que permita el gobierno del mismo (atraque en contra de la corriente y del viento, si es el caso). La velocidad mínima con la que el buque puede atracar es tanto más pequeña cuanto mejor pueda ser maniobrado dicho buque y como se mencionó más arriba, en muelles de estructura abierta, se dejan atravesar por la corriente, mientras que en obras macizas la reflejan.



La energía de avance del buque disminuye en primer lugar por la propia fuerza de la hélice. El buque se acerca a la instalación fija bajo cierto ángulo casi paralelo al mismo, utiliza marcha atrás y maniobra con el timón para acercarse más al muelle. Desde el buque y antes de entrar en contacto con el muelle, se lanza

una amarra a tierra, desde la proa en la mayoría de los casos. La amarra se fija a tierra (en las bitas o bolardos) y se tensa desde la embarcación. Por alargamiento elástico se absorbe parte de la energía de proa de la embarcación. La fuerza no es demasiado grande, pues si no la amarra se rompería o la popa giraría hacia el muelle con la energía restante y finalmente, con esta energía choca contra el muelle y solicita el sistema de defensas, generando la deformación elástica de ellas y al mismo tiempo del casco del buque.



El recorrido de frenado “d” del buque a lo largo del muelle se obtiene por:

$$E = F d$$

Aquí F es la fuerza en la amarra y E la energía estimada como se dijo anteriormente y que aparece disminuida por el choque contra la instalación fija después de comprimir las defensas, deformar elásticamente la estructura y también producir deformación elástica del casco del buque en el punto de contacto y en la totalidad del casco.

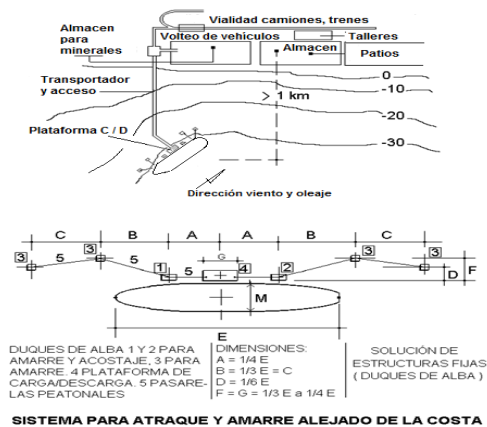
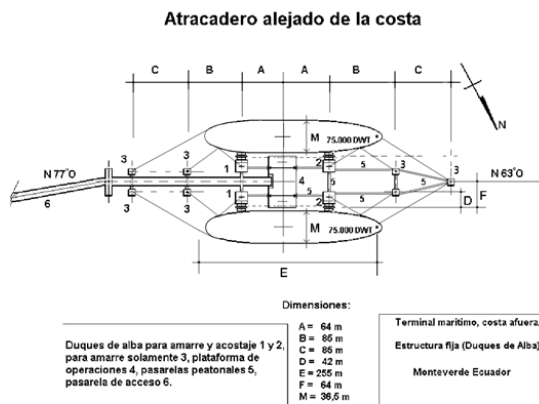
Nota 1. Deformación elástica: la estructura recobra su forma y extensión cuando cesa la fuerza de compresión.

Si la energía E del buque que atraca es tan grande que no puede ser amortiguada por deformaciones o recorridos “d”, se está en presencia de atraque con averías y la energía se amortigua por deformaciones plásticas o destrucción de las defensas, por deformaciones plásticas o desplazamiento de la estructura del muelle o por deformaciones plásticas del casco del buque.

Nota 2. Deformación plástica: la estructura cambia su forma mediante compresión y la conserva permanentemente.

Por otra parte, el calado de los buque ha aumentado considerablemente, lo que exige la separación de las instalaciones fijas de la línea costera para ubicarlas en aguas profundas adecuadas, evitando costosas obras de dragado; pero, al mismo tiempo implantarlas en los dominios del viento, oleaje y corrientes. En grandes profundidades, no son económicas las estructuras para atraque macizas construyéndose las del tipo abiertas o discontinuas que oponen al buque una masa muy escasa y tal que, la proporción de la embarcación a la obra llega a ser más desfavorable, aumentando la exigencias de usar dispositivos que, situados entre el buque y la obra, sirven para amortiguar las fuerzas de las embarcaciones que atracan e integrarlas a

la construcción que constituye el muelle, sin peligro para el buque y la estructura. Este es el caso de terminales portuarios con plataformas de carga y “duques de alba”. Se denomina defensas todo tipo de dispositivo acoplado elásticamente entre el buque y el muelle, a modo de cojín, que se deforma elástica y también plásticamente.



En la práctica normal durante el proyecto de estructuras para atraque, la ingeniería selecciona la velocidad de aproximación del buque a la superficie de contacto con

el muelle, atendiendo a múltiples factores del medio ambiente, y supone que la misma no será sobrepasada. Si la velocidad se excede durante la operación de atraque, será clasificado como un accidente. Sería impracticable diseñar y construir estructuras para resistir el impacto de buque a velocidades altas (mayores de 0.5 m/s) pero se trata de, en qué medida el proyectista debe considerar las velocidades altas que producen accidentes.

En conclusión, la única solución admisible ante un posible choque de buque contra muelle es aquella que intenta reducir la intensidad del choque y que permita salvar de este modo tanto la estructura fija como a la embarcación.

Sin embargo, la necesidad de tratar el impacto del buque sobre el muelle como un problema de riesgo requiere un respaldo matemático y de hecho no puede establecerse un límite real a la velocidad de la embarcación que atraca, y así las defensas y las estructuras, deben diseñarse pensando en que un proyecto económico implica cierto riesgo de avería.

En lugar de elegir arbitrariamente la velocidad del buque para el diseño, una aproximación objetiva sería con base en la probabilidad de que cierta velocidad sea sobrepasada. Se selecciona la magnitud y dirección de la velocidad y se calcula la correspondiente energía (E) que se debe absorber por las defensas y

estructura del muelle. Con estos resultados, se elaboran diseños preliminares de la estructura, capaces de resistir el impacto del buque con las velocidades especificadas. Se comparan los costos de los diseños con las velocidades.

Es evidente que las estructuras capaces de resistir el impacto con velocidades altas y direcciones desfavorables, son más costosas que las diseñadas para resistir impactos a bajas velocidades.

Se calcula el costo de reparación de la estructura en caso de averías. Si se tiene en cuenta el número de buques que atracan por año, se puede estimar la probabilidad de que tal velocidad sea sobrepasada en un año de servicio o en un período dado tal como el de la vida útil esperada del muelle. Se realiza en detalle el análisis de riesgo:

1. Evaluación (comprender el riesgo, cuantificarlo)
 - a) Impacto: pérdida que ocasiona el riesgo
 - b) Probabilidad: probabilidad de que ocurra el riesgo
 - c) Marco de tiempo: período de tiempo en el que es posible mitigar el riesgo
2. Clasificación (entender su naturaleza y elaborar planes de mitigación)

Estimación de riesgo		
Atributo	Valor	Descripción
Impacto	Catastrófico	Pérdida del sistema. Costo >50%
	Crítico	Recuperación: Costo >10% <50%
	Marginal	Costo <10%
Probabilidad	Muy probable	>70%
	Probable	Entre 30% y 70%
	Improbable	<30%
Marco de tiempo	Corto plazo	1 año
	Mediano plazo	2 a 6 años
	Largo plazo	Más de 6 años

Clasificación de la probabilidad de ocurrencia del riesgo		
V a l o r	Probabilidad ocurrencia	Descripción de la probabilidad estimado de frecuencia
5	Certero, seguro	Podría ocurrir más de una vez al año, alta probabilidad
4	Probable, sucederá	Alta probabilidad de ocurrencia, una vez al año.
3	Ocasional	Probabilidad razonable de que suceda entre 1 y 10 años.
2	Remoto, distante de suceder	Ocurrirá poco en el rango temporal de entre 10-50 años
1	Improbable	Probabilidad muy baja en un intervalo de 50 años.

Siendo posible estimar el costo inicial de las estructuras y, en caso de averías, el costo de la reparación, así como otros gastos necesarios, se comparan los costos de las diferentes soluciones y los gastos producidos en caso de averías, con el fin de encontrar qué estructura será la más económica a la larga:

C_e = costo de la estructura

P = probabilidad de que la velocidad de impacto que la estructura puede resistir sin daño, sea excedida.

C_r = costo de reparación de la estructura (en caso de avería)

I = otros gastos, como indemnizaciones a terceros o pérdida de beneficios

La estructura más económica no será la que cueste menos, sino la que cumpla:

$$C_e + P (C_r + I) = \text{mínimo}$$

Pero, el costo C_e de la estructura es una cantidad que se gasta durante el tiempo de construcción, mientras que el C_r de eventuales reparaciones y el de I por indemnizaciones se paga posteriormente y que diferentes tipos de daños suponen

valores de C_r e I diferentes, la ecuación anterior toma la forma:

$$C_e + \sum P (C_r + I) / (1 + j)^n = \text{mínimo}$$

j = tasa de interés que se adopte para el análisis

n = número de períodos (años) en que se espera utilizar la estructura antes de que ocurra un accidente.

Este procedimiento u otro similar, pudiera ser utilizado por las compañías de seguros en sus análisis.

*EL CONTENIDO AQUÍ EXPUESTO REFLEJA LA POSICIÓN PERSONAL DEL AUTOR Y NO DE LA ASOCIACIÓN VENEZOLANA DE DERECHO MARÍTIMO.

ⁱ **José Angel Mijares Peña** es Ingeniero Civil de Estructuras de la Universidad Santa María 1968; Miembro del Colegio de Ingenieros de Venezuela N° 7348; múltiples cursos entrenamiento en puertos y bahías en Japón. Profesor cátedra de puertos Universidad Santa María 1978-89. Gerente de Proyectos de Projecta Corp, S.A 1982-2016; control financiero de proyectos. Administración de recursos. Relaciones con el cliente. Coordinación y control de actividades interdisciplinarias. Director de proyectos y soporte administrativo ejecutados en la oficina regional El Tigrito 2002-2011. Gestión de proyectos, planificación de compras nacionales y construcción de obras para la industria petrolera. Ejecución de proyectos de rompeolas y muelles para atraque de embarcaciones, terminales petroleros. Gerente de proyectos del INP y ejecución de los planes maestros de los principales puertos del país. Diseño y cálculo de obras marítimas y portuarias, incluyendo servicios, MOP.