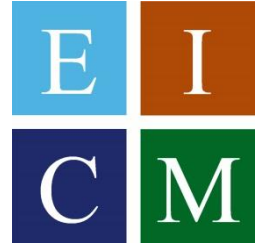




# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS Y DE INGENIERÍA DE MINAS.



Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Civil

## **CÁLCULO DE LA ENERGÍA CINÉTICA DESARROLLADA POR EL BUQUE EN LAS OPERACIONES DE ATRAQUE**

Autor: Fernando Soto López

Tutor: José María Gómez Fuster

Departamento: Unidad Predepart. de Ing. Civil

Curso: 2015-2016



---

## ÍNDICE

---

1. Objeto de cálculo .....	4
2. Marco normativo nacional e internacional .....	5
3. Metodologías aplicables .....	6
4. Modelo empleado .....	9
4.1. Variables .....	10
4.1.1 Tipo de buque .....	10
4.1.2 Obra de atraque .....	12
4.1.3 Maniobra de atraque .....	13
4.1.4 Condiciones climáticas .....	14
4.1.5 Asistencia con remolcadores .....	15
4.2. Parámetros principales .....	16
4.2.1 Coeficiente de masa hidrodinámica .....	17
4.2.2 Coeficiente de bloque .....	18
4.2.3 Coeficiente de excentricidad .....	19
4.2.4 Coeficiente de configuración del atraque .....	20
4.2.5 Coeficiente geométrico .....	21
4.2.6 Coeficiente de rigidez del sistema de atraque .....	22
4.2.7 Velocidad de aproximación del buque .....	23
5. Situaciones a simular .....	26
5.1 Atraque lateral con traslación transversal en atraque fijo continuo .....	26
5.2 Atraque lateral con traslación transversal en atraque fijo discontinuo .....	29
5.3 Atraque lateral por proa o por popa con traslación longitudinal preponderante en atraque fijo .....	31
5.4 Atraque por proa o por popa con traslación longitudinal en atraque fijo, a partir de buque parado .....	35



6. Resultados .....	36
6.1 Atrake lateral con traslación transversal en atrake fijo continuo .....	37
6.2 Atrake lateral con traslación transversal en atrake fijo discontinuo .....	44
6.3 Atrake lateral por proa o por popa con traslación longitudinal preponderante en atrake fijo .....	48
6.4 Atrake por proa o por popa con traslación longitudinal en atrake fijo, a partir de buque parado .....	54
7. Dimensionamiento de las defensas .....	57
7.1 Consideraciones generales .....	57
7.2 Dimensionamiento de las defensas .....	62
7.2.1 Defensas de escudo .....	62
7.2.2 Defensas de escudo .....	74
8. Conclusiones .....	92
9. Leyenda .....	95
10. Bibliografía .....	98



## 1. OBJETO DE CÁLCULO

La demanda de petróleo y gas se ha incrementado significativamente en los últimos 40 años y se prevé que continúe creciendo en un futuro próximo. Gran parte de estos productos y de mercancía en general, son trasladados por alta mar y sus costes de transporte pueden verse reducidos mediante el uso de embarcaciones de mayor tamaño. Entre otras consecuencias, dicho propósito implica proyectos de mayor envergadura, la ampliación y construcción de nuevos puertos y condiciones más desafiantes para el medio ambiente; por lo que las cargas de trabajo en las infraestructuras marinas y buques, será mayor.

Cuando un buque se aproxima a un muelle, es importante que atraque lo más suavemente posible, para lo que se puede emplear la ayuda de remolcadores. A pesar de esto, se ejercen grandes fuerzas sobre las estructuras de atraque. Las defensas son el elemento de contacto entre el barco y el puerto; ya que son las responsables de absorber la energía cinética del barco y transmitirla hacia las estructuras de atraque. Son ante todo una barrera de seguridad para proteger a las personas, los barcos y las estructuras.

Un buen diseño de defensas comprende muchas disciplinas y exige la cooperación entre el conocimiento teórico y la experiencia en las maniobras de atraque del mundo real. La mayoría de los códigos y estándares asumen que el usuario posee un buen conocimiento de trabajo sobre la materia.

Este proyecto tiene la intención de ser una fuente concisa a la hora de identificar los procesos, variables y criterios clave para calcular la energía de atraque, valorar y analizar la magnitud de ésta y estudiar los tipos de defensas adecuados; así como el comportamiento de las mismas.

## 2. MARCO NORMATIVO NACIONAL E INTERNACIONAL

Las infraestructuras marítimas españolas inician su proceso de normalización en el ámbito de planificación, proyecto, ejecución y explotación, con la aprobación del primer documento del programa **Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM)** en 1990.

Si bien las ROM son preceptivas reglamentariamente sobre todo en el sistema portuario español, sus distintas recomendaciones han logrado un prestigio



internacional por el cual se utilizan también ya para los proyectos marítimos de otras administraciones tanto nacionales como extranjeras.

Particularmente, a la hora de desarrollar el presente proyecto, ha sido fundamental el empleo como instrumento base del documento **ROM 2.0-11. Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre. Criterios generales y factores de proyecto** [ TOMO I ,II; Serie II ]

Asimismo, se ha empleado de forma complementaria las restantes recomendaciones de la *Serie 1. Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de abrigo, para el proyecto, construcción, explotación, conservación, reparación y mantenimiento de obras de abrigo* en las que esté previsto el atraque y amarre de buques o embarcaciones.

En el ámbito de la ingeniería marítima, existen diversos códigos, manuales, instrucciones y normativas internacionales, de carácter adicional a las recomendaciones españolas y que conjuntamente integran el marco normativo de las mencionadas construcciones. Entre ellas, requieren especial mención:

- *British Standard Code of Practice for Maritime Structures* .BS 6349. (Reino Unido).
- *Recommendations of Committee for Waterfront Structures : Harbours and Waterways* ( Alemania ).
- *Shore Protection Manual* (USA)
- *Danish Code of Practice* ( Dinamarca).
- *Technical Standards for Ports and Harbours Facilities in Japan* ( Japón).
- *Manuales de la UNCTAD* ( Naciones Unidas ).
- *PIANC Guidelines for the design of Fender Systems* ( The World Association for Waterborne Transport Infrastructure )

### 3. METODOLOGÍAS APLICABLES

Tal como indica el CEDEX (2009, p.102-104), el proceso de impacto del buque sobre las estructuras marítimas ha sido abordado por diversos autores desde el punto de vista teórico (Vasco Costa), aproximado (Saurin y Riselada) y estadístico (Svendsen), existiendo también en la actualidad modelos matemáticos sobre este proceso. Vamos a exponer de forma muy resumida estas metodologías.



### **MÉTODO ESTADÍSTICO ( Svendsen. PIANC, 1981 )**

Este método fue expuesto por Svendsen en el PIANC (1981) y consiste básicamente en utilizar la información obtenida en prototipo, para determinar el valor de diseño del impacto en el atraque o la energía de la defensa ( $E_f$ ) en términos probabilísticos. De esta forma los datos automáticamente incluyen el efecto de la velocidad del impacto, excentricidad, masa hidrodinámica, etc.

Un aspecto fundamental del proceso de atraque es que debido a la variabilidad de condiciones externas ( vientos, corrientes, etc.) y de las maniobras llevadas a cabo en cada atraque, las energías medidas en las defensas muestran dispersión significativa que solo puede ser descrita estadísticamente. Dicho de otra forma, existe una probabilidad (o riesgo) de que cualquier energía de la defensa escogida sea excedida.

Svendsen, aunque con no muchas medidas, encontró que los parámetros más importantes que correlacionaban la energía del impacto eran el tamaño del buque y las condiciones de las corrientes. Los resultados de la variación de la energía de las defensas con el desplazamiento de los buques muestra que existe una diferencia acusada entre puertos con diferentes condiciones de corrientes, haciendo una distinción entre tres tipos de puertos A,B y C; siendo las energías desarrolladas en el tipo C las mayores.

Para poder comparar adecuadamente las medidas de los diferentes atraques en el mismo grupo, las energías de impacto medidas ( $E_f$ ) han de ser transformadas en energías del buque mediante la relación:

$$E_s = E_f \cdot \left(1 + \frac{a^2}{k^2}\right)$$

Siendo :  $k = 0.20 \times LOA$  ;  $a = \frac{1}{2}$  Distancia entre las defensas extremas ;  $LOA =$  Eslora total

Una vez hecha la distribución de buques en intervalos de desplazamiento y elegido un riesgo R de que un valor  $E_f$  sea excedido al menos una vez durante un número de atraques, puede calcularse Q ( $E_q$ ) = Probabilidad de que  $E_f$  sea excedida.

Esta metodología puede ser muy interesante si se dispone de suficientes campañas de datos in situ.

### **MÉTODOS MATEMÁTICOS**

Los modelos matemáticos son actualmente los más utilizados para la determinación de la energía cedida al sistema de atraque debido a que no es muy común en la actualidad disponer de registros fiables, completos y suficientes de energías cinéticas en un emplazamiento que permitan la aplicación de los modelos estadísticos y, por tanto, su extrapolación a nuevos emplazamientos con configuraciones físicas del sistema de atraque y



características climáticas y operativas similares. Los modelos matemáticos pueden clasificarse en:

**Impacto teórico (Teoría de Vasco Costa)**

Sea la masa de un buque  $m$  y  $mk^2$  su momento de inercia, desplazándose con una velocidad de traslación  $U_0$  y un angular  $W_0$ . Al chocar con un sistema de defensas, el movimiento consistirá solamente en una rotación ( $W$ ) si  $\phi < \mu$ . Por simples consideraciones dinámicas, Vasco Costa (1968) obtuvo que la energía del buque que tiene que ser absorbida por el sistema de defensas es  $E_f = F(m, U_0, \gamma, W_0, k, r)$  si se consideran dos casos:

**1. Traslación pura sin rotación:**

$$E_f = \frac{1}{2} m U_0^2 \cdot \frac{k^2 + r^2 \cdot \cos^2 \phi}{k^2 + r^2}$$

$\mu$  = Coeficiente de rozamiento defensa.

$\gamma$  = Ángulo de la reacción en defensa con normal.

$r$  = radio de giro.

**2. Simple rotación sin traslación:**

$$E_f = \frac{1}{2} m W_0^2 \cdot \frac{k^2 \cdot r^2}{k^2 + r^2} \quad \text{ò} \quad E_f = \frac{1}{2} m V_0^2 \cdot \frac{k^2}{k^2 + r^2}$$

De este par de ecuaciones pueden deducirse las siguientes conclusiones:

1. Para igual velocidad del punto del casco que golpea la defensa, la cantidad de energía que ha de ser absorbida por la defensa es mayor cuando el impacto es una traslación que de una rotación.
2. En el caso de ataque con traslación normal ( $\gamma = 90^\circ$ ) las dos cantidades de energía serán iguales, y además la cantidad que ha de ser absorbida es mínima.
3. El cálculo de la energía de impacto cuando exista  $U_0$  y  $W_0$  puede simplificarse empleando la primera expresión, estando del lado de la seguridad.





### **Solución aproximada del impacto (*Análisis de Saurín y Riselada*)**

En la teoría de Vasco Costa no se tiene en cuenta la acción del fluido, configuración de los fondos, rigidez del sistema de atraque, forma, etc. Con el fin de tener en cuenta todos estos efectos B.F Saurín (1963) y Riselada.T.J (1964) introdujeron un factor de corrección de impacto “C” que involucra el efecto de todas las variables no consideradas en el análisis general, quedando la siguiente expresión:

$$E_f = C \cdot \frac{mU_o^2}{2}$$

Siendo  $C = C_e \times C_g \times C_d \times C_c \times C_m$

$C_e$  = Coeficiente de excentricidad =  $f(k, a)$ ; donde  $k$  es el radio de giro y  $a$  es la distancia del c.d.g. al punto de impacto.

Los demás coeficientes dependen de la geometría del buque, sistema de atraque (rígido o flexible), configuración del atraque (en función de la circulación del agua entre el buque y el fondo), y de la masa asociada al agua.

### **Solución mixta (*Comisión Mixta de PIANC.1981*)**

Siguiendo la línea de Vasco Costa y Saurín se obtuvieron fórmulas en las que se tienen en cuenta todos los movimientos del buque.

Tradicionalmente se han utilizado modelos analíticos sencillos para la evaluación de la energía debida al atraque. No obstante, se recomienda el uso de modelos numéricos más avanzados cuando las condiciones físicas y medioambientales en las que se considere que puede producirse la maniobra de atraque son especialmente adversas, particularmente en áreas no protegidas (p.e. terminales offshore) o en estuarios en las que por condiciones de explotación se admita que puedan presentarse importantes niveles de oleaje y/o de corrientes durante las maniobras de atraque.

## **MÉTODOS EXPERIMENTALES**

Aunque también podrían utilizarse prototipos a escala real, los modelos experimentales que normalmente se consideran a estos efectos son los modelos físicos en modelo reducido. Se utilizan para la predicción de las maniobras de los buques y, por tanto, para determinar los movimientos de los mismos durante la aproximación al atraque en las diferentes condiciones climáticas y operativas. Dichos modelos, al igual que los modelos numéricos equivalentes, permiten definir los parámetros fundamentales (magnitud y dirección de la velocidad del buque, el ángulo de aproximación al atraque y el punto de impacto, etc.) necesarios para una determinación más precisa de la energía cinética cedida al sistema de atraque por medio de las formulaciones analíticas en uso.

## 4. MODELO EMPLEADO

Entre las distintas metodologías descritas anteriormente, el cálculo y análisis de la energía de atraque en este estudio, ha sido abordado desde el procedimiento matemático analítico; dada la carencia de un registro completo y fiable de datos que permitiese utilizar el método estadístico. Dentro de los métodos matemáticos, el procedimiento seleccionado ha sido la solución aproximada de Saurín y Riselada.

Para la aplicación del mismo se ha elaborado un modelo de cálculo en el programa EXCELL, de carácter versátil y capaz de procesar los múltiples datos de entrada y obtener los valores de energía cinética de atraque; en función de una serie de parámetros y variables internas. El funcionamiento de dicho modelo se describe en el siguiente gráfico.

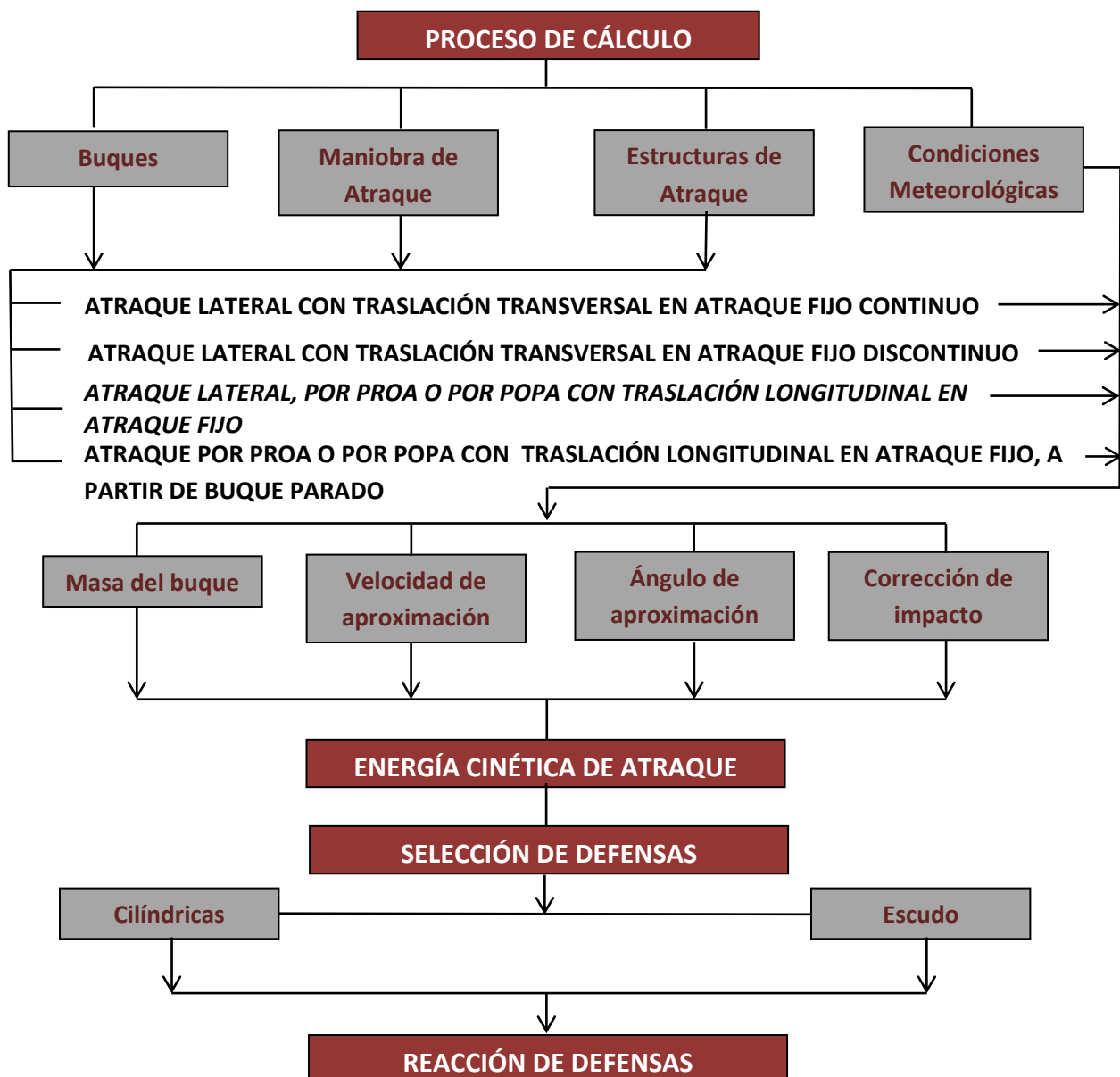


Gráfico 1. Diagrama del proceso de cálculo.

Este procedimiento de cálculo descrito, se ha desarrollado siguiendo estrictamente las directrices marcadas por el documento **ROM 2.0-11. Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre. Criterios generales y factores de proyecto** [ TOMO I , II; Serie II ]

## 4.1 VARIABLES

Para que la interacción puerto-barco se desarrolle de manera segura y el atraque sea óptimo, se deben considerar diversos factores de carácter determinante. Pese a ser fundamentales las características de la estructura de atraque y las del buque; se han de tener en cuenta otras variables como las condiciones meteorológicas en las que se produce, las maniobras que se van a efectuar, si se va a contar con la ayuda de remolcadores durante la aproximación a puerto, etc; pues dependiendo de la variabilidad de estos factores podemos encontrar grandes diferencias en cuanto a la cantidad de energía cinética a absorber por los sistemas de defensa.

### 4.1.1 TIPO DE BUQUE

Los puertos deben dar servicio a los barcos más grandes, pero también deben atender barcos pequeños y medianos, particularmente si estos representan la mayoría de los atraques.

Las características del barco influirán de manera significativa en la energía cinética de atraque y en el diseño de las defensas. Es importante tanto el tipo de barco, el tamaño del mismo, así como la forma del casco o su curvatura.

A continuación se hace referencia a los diversos tipos de barcos más comunes y a las características principales a considerar:

PETROLEROS		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga peligrosa.</li> <li>• Gran cambio de calado.</li> <li>• Presiones bajas en el casco.</li> <li>• Asistencia de remolcador es estándar</li> </ul>
GRANELEROS		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las cargas pueden ser peligrosas.</li> <li>• Gran cambio de calado.</li> <li>• Presiones bajas en el casco.</li> <li>• Asistencia de remolcador es estándar</li> </ul>
GASEROS		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las cargas son muy peligrosas.</li> <li>• Terminales de atraque designada.</li> <li>• Presiones bajas en el casco.</li> <li>• Asistencia de remolcador es estándar</li> </ul>

PORTACONTENEDORES		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manga larga. Limita el tamaño de la defensa.</li> <li>• Presiones bajas en el casco.</li> <li>• Asistencia de remolcador es estándar.</li> </ul>
RODRÓ		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguridad de pasajeros crítica.</li> <li>• Muchos tamaños y formas.</li> <li>• Asistencia de remolcador es muy escasa.</li> <li>• Atrache de lado y popa.</li> </ul>
TRANSP. YERBUROS		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto francobordo.</li> <li>• Asistencia de remolcador es común.</li> <li>• Atrache de lado y popa.</li> </ul>
CRUCEROS		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguridad del pasajero crítica.</li> <li>• Pequeños cambios de calado.</li> <li>• Los tamaños de los barcos comienzan a ser demasiado grandes para muchos puertos.</li> </ul>

Tabla 1. Principales características de los buques.

Estas embarcaciones corresponden a los modelos de mayor tamaño, pero también existen otros de menor envergadura, presentes en los cálculos recogidos en este estudio y a los que los puertos han de dar servicio como son los megayates, pesqueros y embarcaciones de recreo a motor y a vela.

A la hora de cuantificar la energía cinética de atraque se requiere de información acerca de las dimensiones de los mismos. Dichos valores han sido obtenidos de las tablas existentes en la ROM 2.0-11 (estas tablas no se incluyen en la memoria de este proyecto debido a su extensión) y se definen a continuación:

- **Eslora total ( $L_{OA}$ )** = Longitud máxima del barco que define el tamaño del muelle o dique seco que necesita.
- **Eslora entre perpendiculares ( $L_{BP}$ )** = Longitud entre el pivote del timón y la intersección de la proa con la línea de flotación.
- **Manga ( $B$ )** = es el ancho del barco, usualmente medido en el centro del mismo.
- **Calado de carga ( $D_L$ )** = es el calado máximo de verano para buenas condiciones de operación. Los buques operarán con este calado o uno menor dependiendo de la cantidad de carga.
- **Calado de lastre ( $D_s$ )** = es el calado de navegación mínimo cuando un barco está descargado y en condiciones de lastre.
- **Francobordo de carga ( $F_L$ )** = distancia vertical desde la cubierta principal de una embarcación hasta la línea de carga correspondiente al calado de carga.
- **Francobordo de lastre ( $F_s$ )** = distancia vertical desde la cubierta principal de una embarcación hasta la línea de carga correspondiente al calado de lastre.
- **Espacio libre bajo la quilla ( $K_C$ )** = la profundidad del agua debajo del casco del barco (quilla). Se deberá considerar el efecto de carga o lastre.

- **Radio de proa ( $R_s$ )** = el radio teórico de la proa del barco en un plano horizontal. El radio a veces se toma como una constante, pero en la práctica puede variar de acuerdo con el calado del barco.

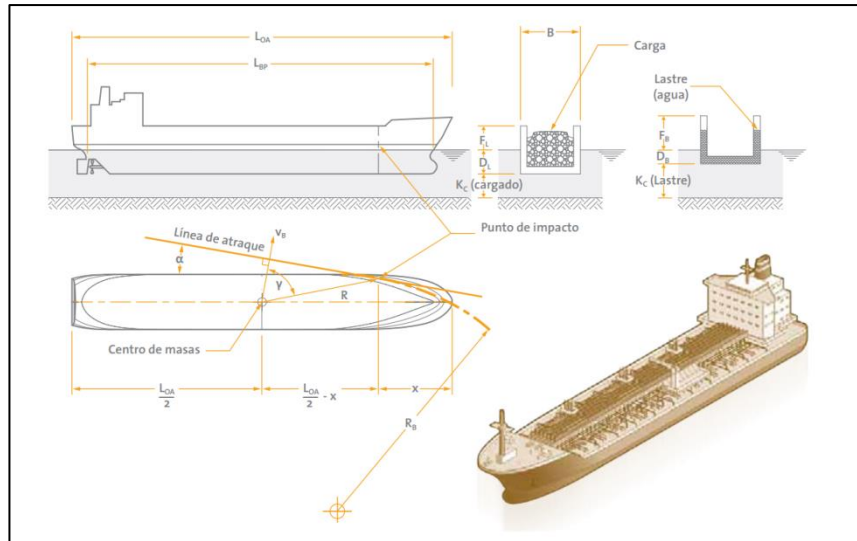


Imagen 1. Principales dimensiones de los buques.

## 4.1.2 ESTRUCTURAS DE ATRAQUE

Luanda.S, Ramón en su estudio Instalaciones Portuarias (2012), clasifica las estructuras de atraque en dos categorías principales: estructuras macizas que pueden soportar fuerzas de reacción altas de las defensas y estructuras de carga crítica que pueden resistir fuerzas limitadas de las defensas.

ESTRUCTURAS MACIZAS	ESTRUCTURAS DE CARGA CRÍTICA	ESTRUCT. DE AMARRE Y MONOPILOTES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usualmente de tablaestaca, bloques de hormigón o pilotes.</li> <li>• Son muy sólidas .</li> <li>• Se encuentran en puerto y vías marítimas pero no en agua profundas o lugares expuestos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura sensible a las cargas.</li> <li>• Cubierta de hormigón o de acero.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura sensible a las cargas.</li> <li>• Los monpilotes contribuyen a la energía total.</li> </ul>

Tabla 2. Estructuras de atraque.

Los atraques se pueden clasificar en embarcaderos o muelles continuos, y estructuras individuales (no continuas) conocidas usualmente como duques de alba o dolphins. Algunos duques de alba son diseños rígidos, con pilotes inclinados u otros soportes. Los monopilotes son una categoría especial de estructuras de duques de alba.

### 4.1.3 MANIOBRAS DE ATRAQUE

Dependiendo del tipo de barco y muelle, las naves pueden aproximarse a la estructura de diferentes formas. Este tipo de aproximación debe ser considerada con mucho cuidado para entender el verdadero punto de impacto en el casco, la dirección del vector velocidad y otros factores que puedan causar que la defensa se comprima en ángulo, se cizalle bajo fricción, se produzca efecto palanca, etc. Los casos más comunes son:

	<p style="text-align: center;"><b>ATRAQUE DE LADO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El barco está paralelo a un pequeño ángulo de la línea de atraque.</li> <li>• El vector velocidad se encuentra casi perpendicular a la línea de atraque.</li> <li>• El barco rota casi en el punto de contacto con las defensas lo que disipa cierta energía cinética.</li> <li>• El contacto es típicamente entre un 20% y 35% de la proa, dependiendo del radio de la proa y la geometría.</li> <li>• El barco puede golpear una, dos, tres o más defensas dependiendo de su tamaño y del radio de la proa del barco.</li> <li>• Si la velocidad no es exactamente perpendicular a la línea de atraque entonces habrá algún cizallamiento en las defensas debido a la fricción.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>ATRAQUE POR POPA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El barco se desplaza hacia adelante o atrás hacia la estructura.</li> <li>• Aproximación común a las rampas y pontones RoRo, pero algunas veces aplicado a barcazas y barcos con carga pesada.</li> <li>• Los ángulos de atraque son usualmente pequeños pero pudiera resultar entrar en contacto con una sola defensa o una muy pequeña área con la proa del barco o con el cinturón de la popa.</li> <li>• Las velocidades de atraque pueden ser altas y poca rotación del barco si la hubiera en el punto de contacto, por lo que la defensa debe absorber toda la energía cinética.</li> <li>• La masa virtual (masa agregada) de agua arrastrada es muy baja debido a un perfil de casco más aerodinámico.</li> </ul>	
	<p style="text-align: center;"><b>ATRAQUE EN DUQUE DE ALBA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Método común para terminales de petróleo/gas donde el vector de velocidad es mayormente perpendicular a la línea de atraque.</li> <li>• También es común para algunos puertos RoRo donde el vector de velocidad puede incluir un componente atrás/adelante mayor (hacia la rampa) que puede producir grandes fuerzas de cizallamiento.</li> <li>• El contacto en terminales de combustible/gas es a menudo entre 30% y 40% de eslora desde la proa o popa, usualmente en la sección plana media del casco.</li> <li>• El contacto en puertos RoRo es usualmente 25% y 35% de la eslora desde la proa, pero a veces también en el centro del barco en duques de alba exteriores.</li> <li>• Si la velocidad no es exactamente perpendicular a la línea de atraque entonces habrá cizallamiento en las defensas debido a la fricción.</li> </ul>

Tabla 3. Maniobras de atraque.

Pese a conocer de forma teórica estos atraques, es necesario recordar la notable importancia de la experiencia real a la hora de realizar maniobras de aproximación a puerto. La mayoría de los códigos y estándares, como citan los expertos de Fender Team (2014) y Trelleborg (2015), asumen que el usuario posee un buen conocimiento de trabajo sobre la materia; por lo que se ha supuesto dicho precepto en este proyecto.

#### 4.1.4 CONDICIONES CLIMÁTICAS

Las condiciones climáticas durante la aproximación a puerto, son un elemento clave a la hora de definir el atraque; ya que dependiendo de las mismas, este puede ser un proceso óptimo y relativamente breve o uno extenso y tedioso, llegando incluso a no efectuarse el atraque cuando las condiciones meteorológicas son extremas.

Consideramos situaciones extremas aquéllas en las que las condiciones meteorológicas o de la dársena, provoquen en el buque movimientos tales que dificulten gravemente o impidan las operaciones de carga y descarga, o se ponga en peligro la integridad de las amarras, defensas, el buque o la instalación portuaria.

	CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE LAS MANIOBRAS DE ATRAQUE				
	FAVORABLES (——)	MODERADAS (- - - -)		DESFAVORABLES (- - - - -)	
Velocidad Viento ( $V_{v,1 \text{ min}}$ )	< 17 m/s	$\geq 17$ m/s	< 17 m/s	$\geq 17$ m/s	Cualquier valor
Velocidad corriente ( $V_{C,10 \text{ min}}$ )	< 1 m/s	< 1 m/s	$\geq 1$ m/s	$\geq 1$ m/s	Cualquier valor
Altura de ola o de la onda generada por buques en tránsito ( $H_s$ o $H_{b,max}$ )	< 2 m para $\Delta \geq 3000$ t < 1 m para $\Delta < 3000$ t	< 2 m para $\Delta \geq 3000$ t < 1 m para $\Delta < 3000$ t		< 2 m para $\Delta \geq 3000$ t < 1 m para $\Delta < 3000$ t	$\geq 2$ m para $\Delta \geq 3000$ t $\geq 1$ m para $\Delta < 3000$ t
<b>Notas</b>					
$V_{v,1 \text{ min}}$ : Velocidad del viento en el emplazamiento correspondiente a 10 m de altura y ráfaga de 1 minuto.					
$V_{C,10 \text{ min}}$ : Velocidad de la corriente en el emplazamiento en superficie, obtenida como el valor medio en un periodo de medición de 10 minutos.					
$H_s$ : Altura de ola significativa en el emplazamiento y en presencia de la obra.					
$H_{b,max}$ : Altura de la onda máxima generada por buques en tránsito en el emplazamiento y en presencia de la obra.					

Tabla 4. Condiciones climáticas durante las maniobras de atraque.

La ROM 2.0-11 realiza una distinción de las condiciones climáticas en favorables, moderadas y desfavorables; y les asocia una gráfica de velocidad de aproximación a cada una de ellas. En este estudio con el fin de optar por la seguridad y

estimar la energía de atraque de la manera más precavida posible, se ha considerado como desfavorables las condiciones climáticas en la mayoría de los casos planteados.

Aquellas ocasiones en las que no se ha procedido como tal, ha sido por exigencias de la ROM.

#### 4.1.5 ASISTENCIA DE REMOLCADORES

Otro factor importante en la tarea de atraque íntimamente ligado a la velocidad de atraque, es si la maniobra de aproximación se realiza con la ayuda de remolcadores. Como expresa Robert Garcia (2012), un remolcador es un tipo de barco especializado en el apoyo de maniobra de otros buques y objetos flotantes, mediante el empuje o tirando hacia si con ayuda de cabos, procediendo al arrastre de los mismos. Sus funciones principales son:

- Asistir al buque en las maniobras de atraque y desatraque
- Ayudar al buque en el reviro en un espacio limitado.
- Dar el apoyo necesario para contrarrestar la acción del viento, del oleaje o de las corrientes en las situaciones en las que el buque navega a baja velocidad, en las que la eficacia del motor propulsor y del timón es baja.
- Ayudar a parar al buque.
- Remolcar, empujar o auxiliar a un buque que se ha quedado sin medios de propulsión o gobierno.
- Transportar artefactos flotantes de un lugar a otro.
- Dar escolta, en previsión de pérdida de gobierno, a buques con cargas peligrosas en zonas de alto riesgo.

A continuación se muestran las distintas maneras de operar de los remolcadores:

##### A) REMOLCADOR TRABAJANDO EN FLECHA O SOBRE CABO



Imagen 2. Remolcador operando en flecha.



En este procedimiento el remolcador trabaja separado del buque al que auxilia, tirando de él desde el extremo de un cabo, que puede estar fijado en diferentes puntos del buque realizando así diversas funciones (arrastre, retenida, etc.). Con este procedimiento se evita el contacto directo entre ambas embarcaciones y se asegura además que toda la potencia del remolcador se ejerce en la dirección del cabo. El inconveniente de este procedimiento es que se necesita mayor espacio de maniobra debido a la longitud del amarre, por lo que el sistema no puede utilizarse donde existan limitaciones de espacio.

### B) REMOLCADOR APOYADO DE PROA



Imagen 3. Remolcador operando en proa.

En este sistema el remolcador apoya su proa sobre el costado del buque al que auxilia y lo empuja en una dirección sensiblemente perpendicular a la crujía. Es habitual en este procedimiento que el remolcador quede fijado al buque con 1, 2 y 3 cabos de amarre lo que permite evitar el deslizamiento relativo entre ambas embarcaciones durante la maniobra.

### C) REMOLCADOR ABARLOADO

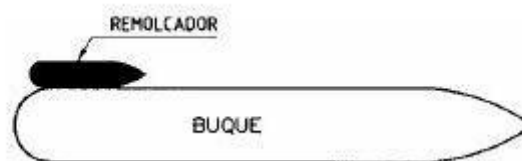


Imagen 4. Remolcador operando abarloado.

En este procedimiento el remolcador se sitúa al costado del buque y sensiblemente paralelo a él, quedando amarrado al barco por mediación de varios cabos, que aseguran la transmisión de esfuerzos. Este procedimiento se utiliza generalmente para maniobrar buques que no cuentan con propulsión suficiente, en lugares de poco espacio y en aguas muy tranquilas.

Por este motivo, en el caso de ser remolcados las maniobras de atraque son más precisas y por tanto la velocidad de aproximación es considerablemente menor.

## 4.2 PARÁMETROS PINCIPALES

En el cálculo de la energía cinética intervienen distintos parámetros con origen en las características del buque y sus maniobras, de las estructuras de atraque y del entorno, como las condiciones climáticas. Los más influyentes son los siguientes:

### 4.2.1 COEFICIENTE DE MASA HIDRODINÁMICA ( $C_m$ )

El coeficiente de masa hidrodinámica tiene en cuenta el efecto producido por la masa de agua que se moviliza conjuntamente con el buque durante la maniobra de atraque y que da lugar a un aumento efectivo de la masa que interviene en la valoración de la energía de atraque.

Este coeficiente se define como el cociente entre la masa total del sistema (masa del buque + masa de agua movilizada) y la masa del buque:

$$C_m = \frac{M_b + M_w}{M_b}$$

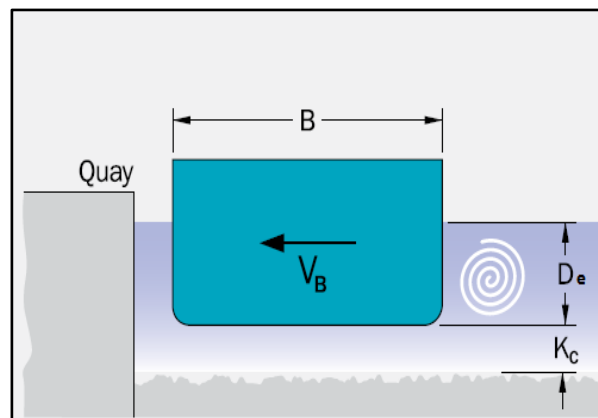


Imagen 5. Masa de agua movilizada en el atraque.

El coeficiente  $C_m$  depende fundamentalmente del resguardo bajo la quilla y en menor medida de las dimensiones y configuración del buque bajo la superficie del agua (relación calado/manga principalmente), del sentido de las corrientes, de la velocidad del atraque, de las características de la maniobra de atraque y de la influencia del tipo y rigidez del sistema de atraque en la deceleración del movimiento del buque.

Dada la dispersión de valores procedentes de las distintas fórmulas existentes, a menos que el proyectista justifique la utilización de otros valores se recomiendan con carácter general para buques convencionales los siguientes valores:

- **$C_m = 1,5$**  para resguardos brutos bajo quilla mayores que la mitad del calado estático del buque (**Resguardo bruto  $> 0,5De$** ).
- **$C_m = 1,8$**  para resguardos brutos bajo quilla menores que 0,1 el calado estático del buque (**Resguardo bruto  $< 0,1De$** ).
- Interpolarse linealmente en el caso de valores intermedios del resguardo bruto.

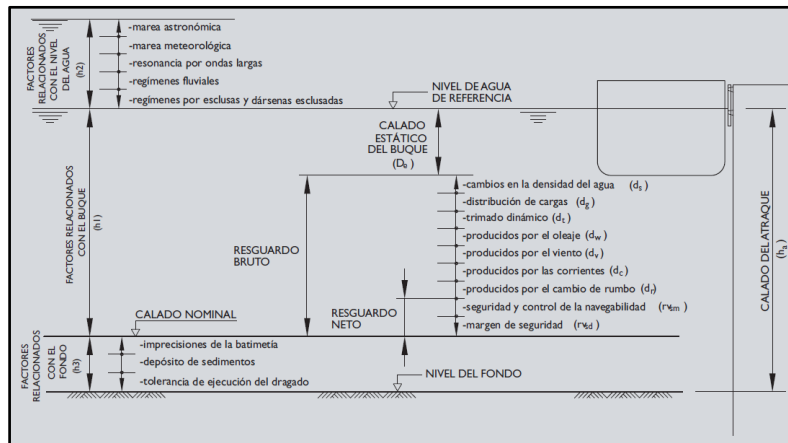


Imagen 6. Factores que inciden en la definición del calado en la línea de atraque

## 4.2.2 COEFICIENTE DE BLOQUE ( $C_b$ )

El coeficiente de bloque es función de la forma del casco; y a plena carga suele variar entre 0,50 a 0,90 para buques marítimos, entre 0,80 y 0,90 para barcazas de navegación interior, entre 0,30 a 0,50 para buques de guerra y entre 0,30 y 0,60 para pesqueros.

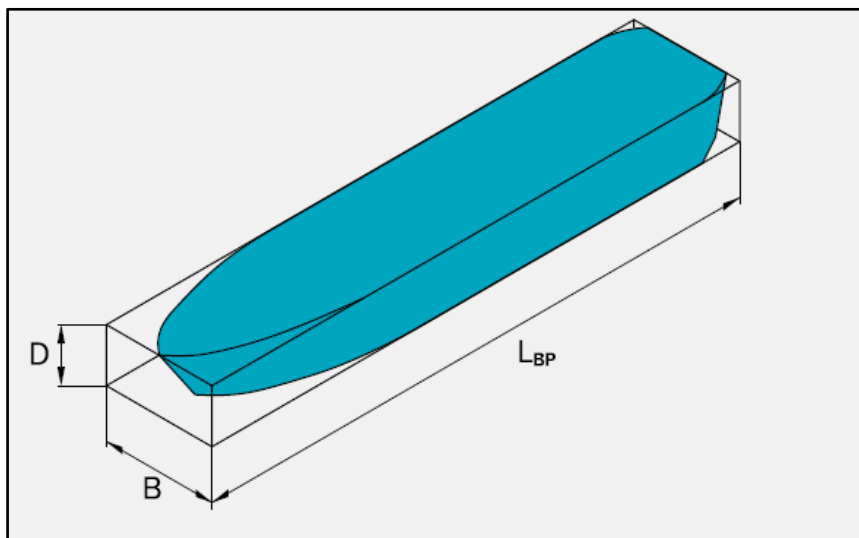


Imagen 7. Configuración casco del buque.

Valores más concretos de los órdenes de magnitud del coeficiente de bloque para buques marítimos, en función de la tipología del buque son:

- Petroleros y quimiqueros: 0,75-0,90
- Gaseros: 0,55-0,80
- Graneleros: 0,70-0,85
- Mercantes de carga general: 0,55-0,85
- Portacontenedores: 0,60-0,75
- Transportadores de coches: 0,55-0,70
- Ro-ro: 0,55-0,80
- Ferries convencionales: 0,55-0,65
- Ferries rápidos: 0,40-0,50
- Cruceros: 0,55-0,75

### 4.2.3 Coeficiente de excentricidad ( $C_e$ )

Tal como explican los expertos del PIANC ( 2012), el coeficiente de excentricidad tiene en cuenta la proporción de energía cinética desarrollada por el buque que no puede transmitirse al sistema de atraque debido a que el punto de impacto no coincide con el centro de gravedad del buque. Por dicha razón, parte de la energía cinética desarrollada por el buque se disipa fundamentalmente por la rotación o guiñada del buque alrededor del punto de impacto.

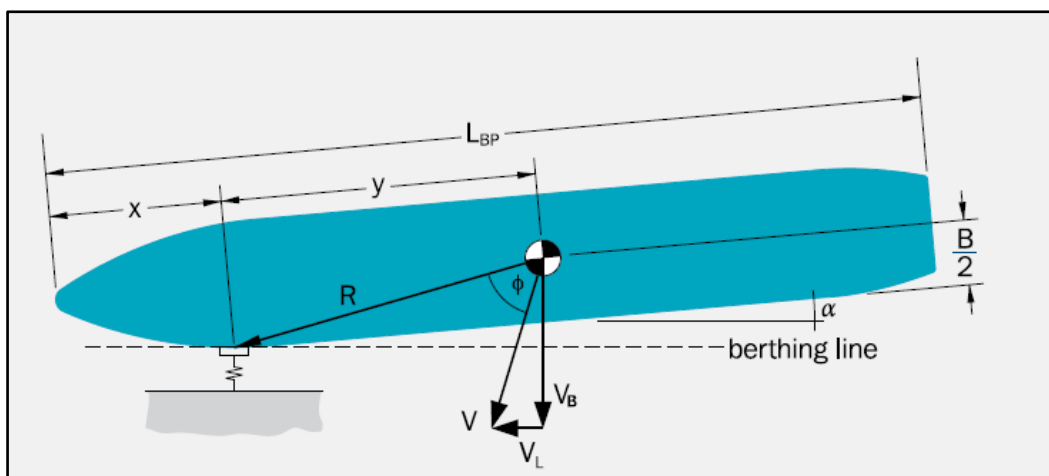


Imagen 8. (R) Distancia entre el punto de impacto y el c.d.g.

El coeficiente de excentricidad se obtendrá mediante la formulación siguiente:

$$C_e = \frac{K^2 + R^2 \cdot (\cos \phi)^2}{K^2 + R^2}$$

Siendo:

**K:** Radio de giro del buque alrededor del eje vertical que pasa por su centro de gravedad. Este parámetro está relacionado con el momento de inercia del buque respecto a un eje vertical que pasa por su centro de gravedad ( $I_z = M_b K^2$ ).

Puede aproximarse por la función  $K = (0,19C_b + 0,11) \cdot L$ ; siendo  $C_b$  el coeficiente de bloque del buque y  $L$  su eslora.

**R:** Distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque, medida en la dirección de la línea de atraque. Su magnitud dependerá del lugar del buque donde se produce el impacto y del ángulo de aproximación al atraque ( $\alpha$ ).

$\phi$ : Ángulo formado entre el vector velocidad de aproximación del buque y la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque.

#### 4.2.4 Coeficiente de configuración del atraque ( $C_e$ )

El coeficiente de configuración del atraque tiene en cuenta el efecto amortiguador del colchón de agua que queda atrapado entre el casco del buque y la estructura de atraque, dando lugar a la aparición de una fuerza adicional sobre el buque y a la absorción de parte de la energía cinética desarrollada por el buque.

La magnitud de este efecto depende de los siguientes factores:

- La configuración y tipología estructural de la obra de atraque.
- La distancia libre entre el casco del buque y el sistema de atraque.
- El resguardo bruto bajo quilla.
- La velocidad y el ángulo de aproximación del buque al atraque.
- La forma del casco del buque.

Podrán adoptarse como valores representativos de  $C_c$  los siguientes:

**$C_c = 1$**

- Cuando la configuración de la obra de atraque sea de tipo muelle o pantalán y su tipología estructural sea fija abierta.
- En los extremos de las obras de atraque, independientemente de su configuración y tipología estructural.

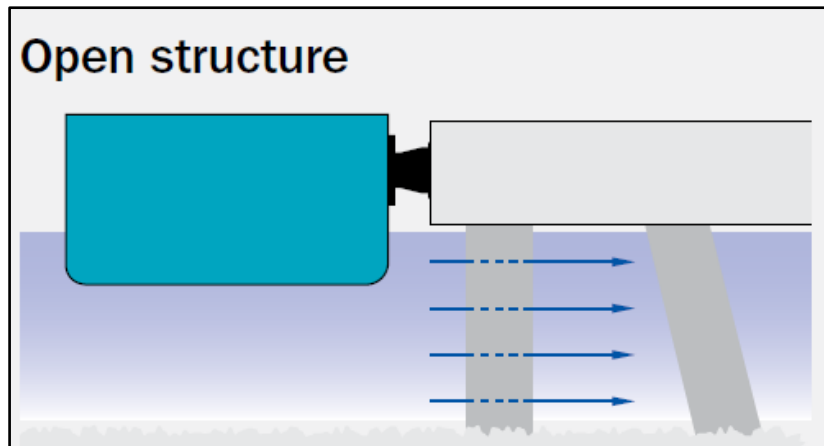
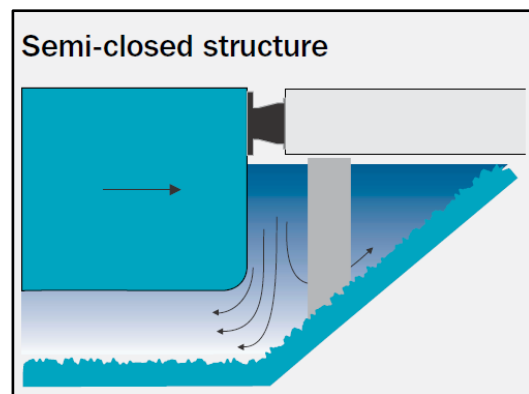
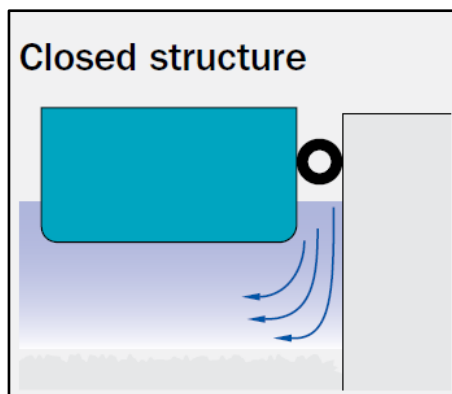


Imagen 9. Estructura de atraque abierta.

$C_c = 0,9$

- Cuando la configuración de la obra de atraque sea de tipo muelle o pantalán y su tipología estructural sea fija cerrada.



Imágenes 10 y 11. Estructura de atraque cerrada y semi-cerrada respectivamente.

## 4.2.5 Coeficiente geométrico del buque ( $C_g$ )

El coeficiente geométrico del buque tiene en cuenta la proporción de energía cinética desarrollada por del buque que es absorbida por el sistema de atraque por efecto de la curvatura del buque en el punto de contacto. Se recomiendan valores de

$C_g = 0,95$  cuando el punto de impacto se produce en la parte curva del casco de los buques y  $C_g = 1$  cuando se produce en la parte plana.

En ausencia de experiencia local contrastada en lo que respecta a la ubicación del punto de impacto, con carácter general puede adoptarse 0,95 como valor representativo de  $C_g$  en sistemas de atraque continuos.

## 4.2.6 Coeficiente de rigidez del sistema de atraque ( $C_s$ )

El coeficiente de rigidez del sistema de atraque tiene en cuenta la proporción de la energía cinética desarrollada por el buque absorbida por la deformación elástica del casco del buque y de la totalidad del mismo a lo largo de su eje longitudinal en el momento del impacto. La magnitud de este efecto depende de la rigidez relativa entre el buque y el sistema de atraque.

Existe en la actualidad muy pocas experiencias u observaciones sobre los valores que puede tomar el coeficiente  $C_s$ , aunque se admite que en la mayor parte de los casos la contribución de la deformación del buque en la absorción de energía cinética es pequeña y, por tanto, tomará valores muy próximos a la unidad. En el caso contrario, se deberían haber observado grandes deformaciones en los buques que, en la mayoría de los casos, habrían producido averías importantes.



Imagen 12. Rigidez buque- sistema de atraque.



A falta de otros datos podrán adoptarse como valores representativos de  $C_s$  los siguientes, los cuales tendrán la consideración de valores nominales correspondientes a valores frecuentes y no se les supondrá variación estadística significativa:

- $C_s = 0.9$ , en el caso de sistemas de atraque muy rígidos o buques de gran eslora.
- $C_s = 1$ , en el resto de los casos.

A estos efectos se considerará que un sistema de atraque es muy rígido cuando la deformación del sistema de defensa ( $\delta f$ ) en el momento del impacto del buque considerado es menor o igual a 150 mm. A su vez se considerará buque de gran eslora cuando esta sea mayor o igual a 300 m.

## 4.2.7 Componente normal de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto ( $V_b$ )

Según el Ministerio de Obras Públicas de Chile (2013), la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto es el factor más determinante para la valoración de la energía cinética del buque durante el atraque al intervenir al cuadrado en la formulación y, por tanto, es muy sensible a las variaciones de dicho parámetro.

Los factores de los que depende la velocidad de aproximación según **Rankine**. (2010) son:

- **Tamaño del buque:** en general, la velocidad de aproximación de los buques es inversamente proporcional a su eslora y desplazamiento.
- **Tipo de buque:** en particular en lo que respecta a la magnitud de las áreas emergidas: buques con mayor superficie expuesta al viento (cruceiros, transportadores de coches, etc) suelen presentar mayores velocidades de aproximación al ser menos controlables frente al viento.
- **Situación de carga del buque:** la velocidad de aproximación es proporcional al resguardo bajo quilla. Por dicha razón un buque a plena carga suele presentar

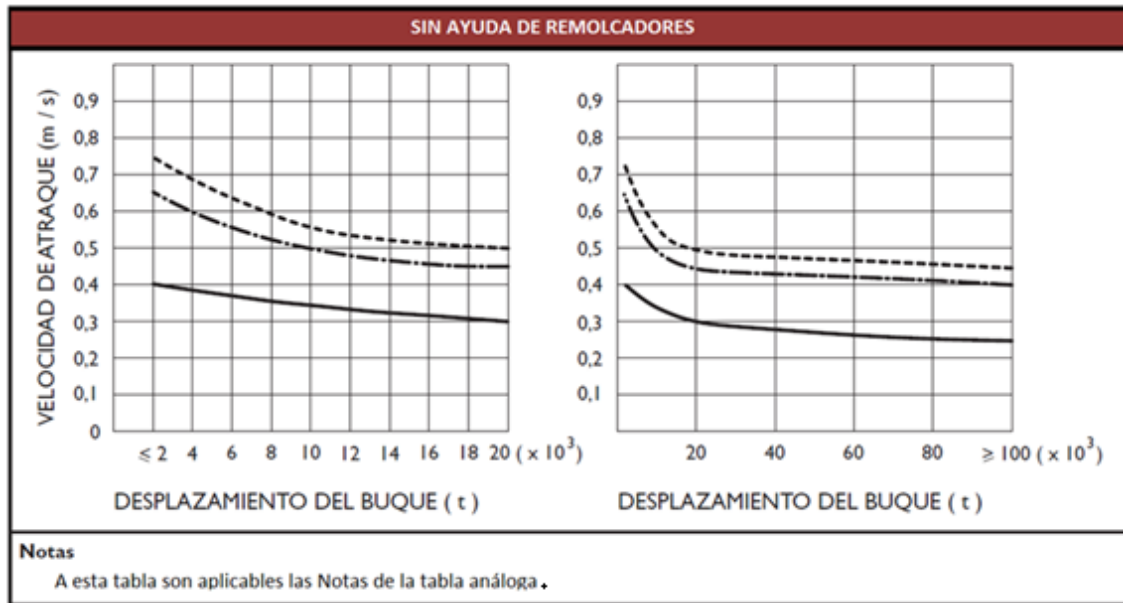




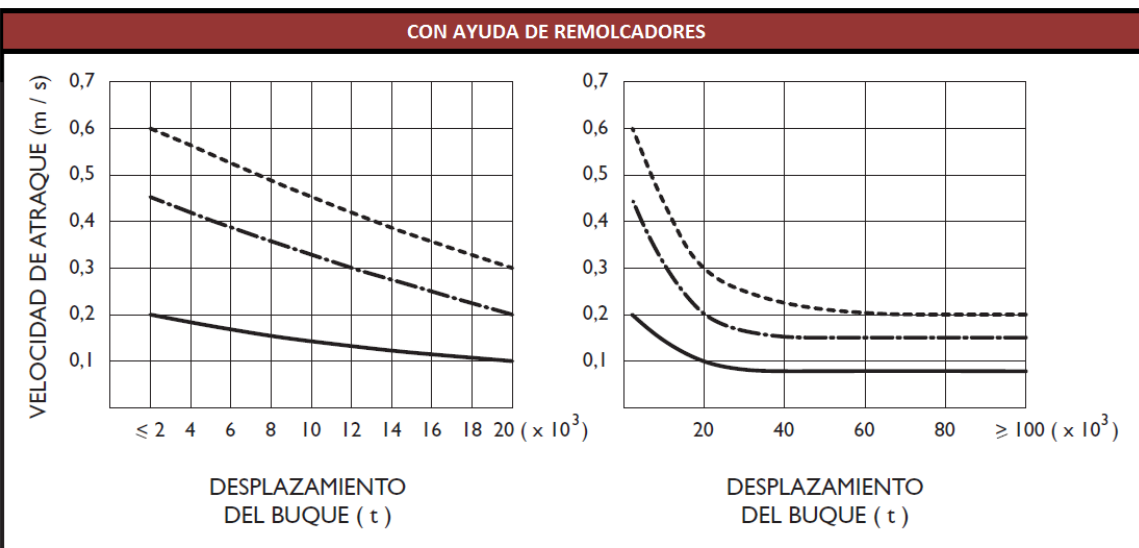
velocidades de aproximación menores que el mismo buque en condiciones de carga parcial.

- **Tipo de carga:** Buques que transportan mercancías peligrosas atracan en condiciones más controladas, por lo que a igualdad de otras condiciones es esperable que su velocidad de aproximación sea más reducida.
- **Características de maniobrabilidad náutica del buque:** buques con hélices transversales u otros dispositivos que mejoren sus condiciones de maniobrabilidad suelen presentar, a igualdad de las restantes condiciones, menores velocidades de aproximación al poder controlar mejor el buque durante la maniobra.
- **Frecuencia de llegadas:** en atraques con alta frecuencia de llegada suelen presentarse mayores velocidades de aproximación.
- **Condiciones medioambientales en el emplazamiento:** condiciones de oleaje, viento y corrientes más desfavorables dan lugar a mayores velocidades de aproximación dadas las mayores dificultades en controlar el buque.
- **Utilización de medios auxiliares en la maniobra de atraque** como remolcadores, amarras u otros dispositivos de ayuda al atraque: la utilización de estos medios en número y potencia adecuada reduce la velocidad de aproximación.
- **Dificultad de aproximación a la instalación de atraque:** atraques situados en emplazamientos que presentan dificultades para la accesibilidad y maniobra de los buques dan lugar a mayores velocidades de aproximación.
- **Factor humano:** experiencia del capitán del buque y, en su caso, del remolcador, existencia de servicio de practica, etc.

Si no se disponen de registros in situ o de resultados provenientes de modelos numéricos o experimentales fiables, completos y suficientes respecto a las velocidades de aproximación de la flota esperable de buques en el atraque o en atraques comparables, la definición de las velocidades de aproximación en condiciones normales operativas correspondiente a la realización de maniobras de atraque se efectuará, para cada tipo, característica y situación de carga del buque perteneciente a la flota esperable en el atraque, a través de las siguientes gráficas, establecidas por las condiciones climáticas, y la presencia de ayuda por parte de los remolcadores.



<b>CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE LA MANIOBRA DE ATRAQUE</b>		
<b>FAVORABLES</b> (—)	<b>MODERADAS</b> (- · - · -)	<b>DESFAVORABLES</b> (- - - -)



- Notas**
- Los valores consignados en la tabla son válidos para buques convencionales (buques sin dispositivos que mejoren las condiciones de maniobrabilidad y sin excesiva superficie expuesta) con  $L \geq 25$  m, en condiciones normales de aproximación al atraque (atraques que no presentan dificultades para la accesibilidad y maniobra del buque o la dirección del viento, la corriente o el oleaje en el emplazamiento es sensiblemente paralela a la línea de atraque). Para condiciones más difíciles de aproximación al atraque podrán adoptarse aumentos del 25% a igualdad de condiciones climáticas. Para buques con dispositivos que mejoren las condiciones de maniobrabilidad suelen presentar velocidades menores. A falta de otros datos, pueden adoptarse los valores correspondientes al escalón inferior de condiciones climáticas más favorables.
  - Cuando se prevean elevadas frecuencias de llegada de buques al atraque podrán adoptarse aumentos adicionales del 20% en la velocidad de aproximación.
  - A los efectos de esta tabla se considerará que la maniobra de atraque se realiza con ayuda de remolcadores cuando éstos estén presentes en la operación en número y potencia adecuada. La definición de potencia y número adecuado puede obtenerse en el apartado 5.7. de la ROM 3.1-99. En el caso de que en unas determinadas condiciones climáticas se considere que la maniobra de atraques se hace con la ayuda de remolcadores, deberá consignarse expresamente en el proyecto como criterio de explotación de la instalación.
  - 1) Los valores de las velocidades de aproximación para condiciones desfavorables deben ser tomados con prudencia, siendo recomendable en estos casos el uso de otros métodos más avanzados para la definición de la energía cinética cedida al sistema de atraque, tal como se recomienda en esta Recomendación.

**Tabla 5.** Valores representativos de la componente normal de las velocidades de aproximación del buque en el momento del impacto ( $V_b$ ), para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante, en el caso de que no haya registros disponibles.

Como se ha comentado en los apartados previos el proceso de atraque de un barco involucra muchos elementos (estructuras de atraque, maniobras, presencia de remolcadores...). Como resultado encontramos una amplia gama de casos particulares de estudio de distinta naturaleza. A continuación se describen y analizan las situaciones más frecuentes en esta operación:

- Atraque lateral con traslación transversal en atraque fijo continuo.
- Atraque lateral con traslación transversal en atraque fijo discontinuo.
- Atraque lateral, por proa o por popa mediante traslación longitudinal preponderante en obras de atraque fijas.
- Atraque por proa o popa mediante traslación longitudinal en obras de atraque fijas, a partir de buque parado.

## 5.1 ATRAQUE LATERAL CON TRASLACIÓN TRANSVERSAL EN ATRAQUE FIJO CONTINUO

Las estructuras de atraque fijas continuas se caracterizan por tener una zona de transferencia de mercancías en toda su longitud y además cuentan con una explanada adyacente a dicha zona donde se realiza el almacenamiento provisional de la mercancía hasta que ésta es definitivamente cargada a los medios de transporte terrestres. Debido a estas características, esta situación de atraque se ha considerado para buques Graneleros, Portacontenedores y Mercantes de carga general. La energía cinética cedida al sistema de atraque (en KJ) puede determinarse mediante la expresión:

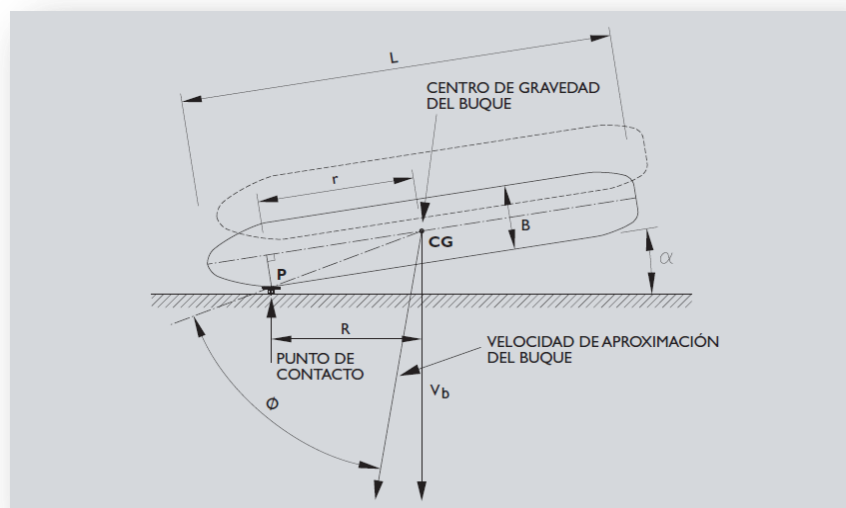


Imagen 13. Atraque lateral con traslación transversal en atraque fijo continuo.



$$E_f = \left[ \frac{1}{2} \cdot C_m \cdot M_b \cdot (V_b)^2 \right] \cdot C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s$$

Siendo:

**$E_f$** : Energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque (kJ).

**$C_m \cdot M_b$** : Masa movilizada por el buque durante el atraque.

**$M_b$** : Masa del buque ( $M_b = D/g$ ).

**$D$** : Desplazamiento del buque en la condición de carga considerada (kN).

**$g$** : Aceleración de la gravedad. (9,8 m/s<sup>2</sup>).

**$C_m$** : Coeficiente de masa hidrodinámica (adimensional).

**$V_b$** : Componente normal a la línea de atraque de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto (m/s).

**$C_e$** : Coeficiente de excentricidad (adimensional).

**$C_g$** : Coeficiente geométrico del buque (adimensional).

**$C_c$** : Coeficiente de configuración del atraque (adimensional).

**$C_s$** : Coeficiente de rigidez del sistema de atraque (adimensional).

Para determinar los valores de las variables implicadas en la ecuación se han seguido los siguientes procedimientos

- En la obtención del coeficiente de masa hidrodinámica se interpola en función del resguardo bruto y del calado estático del buque, obteniendo valores entre 1,5 y 1,8.
- La masa del buque, su eslora y su manga, se seleccionan de las tablas proporcionadas en 4.6.4.4.3.1.2.b111 "Cuantificación de las energías cinéticas cedidas al sistema de atraque". ROM 2.0-11 [TOMO II], *Recomendaciones para el proyecto y ejecución en obras de Atraque y amarre*.
- La componente normal a la línea de atraque de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto, se ha obtenido de las tablas del apartado 4.2.6 de este proyecto; suponiendo las condiciones climáticas de atraque desfavorables y barcos de  $L > 25m$ .
- El coeficiente de excentricidad se calcula mediante las expresiones adjuntadas en el apartado 4.2.3 de la presente memoria. Adoptándose como valores frecuentes :

**Para la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque (R):**

$$R = r \cdot \cos\alpha - \left(\frac{B}{2}\right) \cdot \sin\alpha; \text{ Siendo B la manga del buque.}$$

**Para el ángulo formado entre el vector velocidad de aproximación del buque y la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque ( $\phi$ ):**

$$\phi = 90^\circ - \alpha - \arctg \cdot \left(\frac{B}{2R}\right)$$

**Para el coeficiente de bloque: 0,675-0,775**

**Para el ángulo de aproximación ( $\alpha$ ):**

5º - 6º para buques con  $D \geq 70.000$  t.

10º - 15º para buques con  $D < 70.000$  t.

(Los valores mayores del rango se adoptarán cuando la maniobra sea sin ayuda de remolcadores).

**Para la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque, medida sobre el eje longitudinal del buque ( $r$ ):**

$(1/4)L$ .

- El coeficiente geométrico del buque se ha supuesto 0.95; ya que con carácter general puede adoptarse este valor en sistemas de atraque continuos.
- El coeficiente de configuración del atraque se ha considerado 0,9; al estimar que tratamos con obras de atraque fijas continuas y cerradas.
- El coeficiente de rigidez del sistema de atraque.  $C_s$ , toma como valor 0,9 para los buques de gran eslora ( $> 300$  m ) y 1 para el resto de los casos.

## 5.2 ATRAQUE LATERAL CON TRASLACIÓN TRANSVERSAL EN ATRAQUE FIJO DISCONTINUO

Las estructuras de atraque fijas discontinuas (duques de alba) se utilizan cuando la transferencia de mercancías se realiza en una zona concreta del atraque, normalmente en su zona central. Las diferentes plataformas están conectadas entre sí por medio de pasarelas y, a su vez, la plataforma central se conecta a tierra por medio de un puente o pasarela. Por dicha configuración resultan acertados para el atraque de barcos Petroleros y Gaseros. En este tipo de atraques hay una menor proporción de la energía cinética desarrollada por el buque que se disipa por la rotación o guiñada del buque alrededor del punto de impacto. La energía cinética cedida al sistema de atraque (en KJ) puede determinarse mediante la expresión:

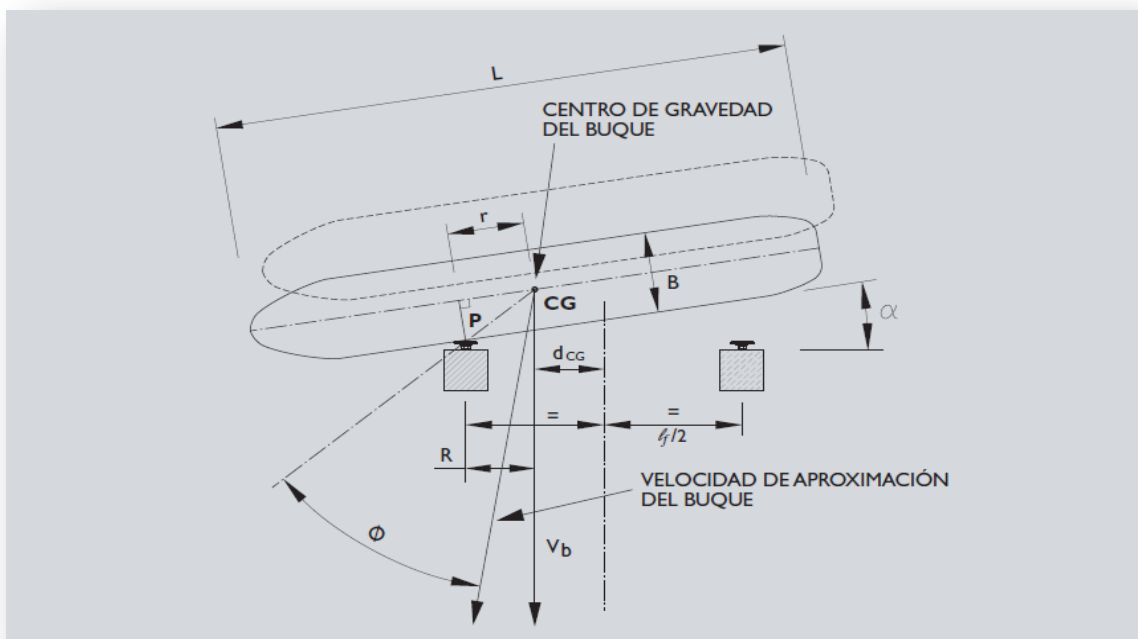


Imagen 14. Atraque lateral con traslación transversal en atraque fijo discontinuo.

$$E_f = \left[ \frac{1}{2} \cdot C_m \cdot M_b \cdot (V_b)^2 \right] \cdot C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s$$

Siendo:

**$E_f$** : Energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque (kJ).

**$C_m \cdot M_b$** : Masa movilizada por el buque durante el atraque.

**$M_b$** : Masa del buque ( $M_b = D/g$ ).



- D:** Desplazamiento del buque en la condición de carga considerada ( $kN$ ).
- g:** Aceleración de la gravedad. ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).
- Cm:** Coeficiente de masa hidrodinámica (adimensional).
- Vb:** Componente normal a la línea de atraque de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto ( $\text{m/s}$ ).
- Ce:** Coeficiente de excentricidad (adimensional).
- Cg:** Coeficiente geométrico del buque (adimensional).
- Cc:** Coeficiente de configuración del atraque (adimensional).
- Cs:** Coeficiente de rigidez del sistema de atraque (adimensional).

La determinación de la energía se realiza análogamente al caso anterior (atraque lateral con traslación transversal en atraque fijo discontinuo), tomando en consideración las siguientes diferencias:

- El coeficiente de excentricidad se calcula mediante las expresiones adjuntadas en el apartado 4.2.3 de la presente memoria. Adoptándose como valores frecuentes :

**Para el ángulo formado entre el vector velocidad de aproximación del buque y la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque ( $\phi$ ):**

$$\phi = 90^\circ - \alpha - \arctg(B/2r), \text{ siendo } B \text{ la manga del buque.}$$

**Para la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque, medida sobre el eje longitudinal del buque ( $r$ ):**

$$r = (R/\cos \alpha) + (B/2) \cdot \text{tg } \alpha$$

**Para la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque ( $R$ ):**

$$R = (1/2 \cdot l_f) - d_{cdg}$$

–  $l_f$ : separación entre sistemas de defensas. En general entre  $0,25L$  y  $0,4L$ .

–  $d_{cdg}$ : descentramiento del centro de gravedad del buque respecto al centro geométrico del sistema de atraque, medido en la dirección de la línea de atraque. Para buques con  $L \geq 25 \text{ m}$  puede adoptarse como valor frecuente de este parámetro  $0,10 \cdot L$ , con un mínimo de  $10 \text{ m}$  y un máximo de  $15 \text{ m}$ .

**Para el coeficiente de bloque:** 0,675-0,8

**Para el ángulo de aproximación ( $\alpha$ ):** 7-10º

- La menor excentricidad del punto de impacto en los atraques discontinuos supone que, en general, el punto de impacto se ubique en el tramo recto del casco del buque, por lo que puede adoptarse 1,0 como valor nominal del coeficiente geométrico del buque ( $C_g$ ) en este tipo de atraques.
- La tipología discontinua del atraque también tiene influencia en el coeficiente de configuración del atraque ( $C_c$ ), al no ser significativos los efectos amortiguadores del colchón de agua que queda atrapado entre el casco del buque y la estructura de atraque por la configuración abierta de este tipo de estructuras de atraque. Por dicha razón, en este tipo de obras de atraque se adoptará 1,0 como valor nominal de  $C_c$ .

### 5.3 ATRAQUE LATERAL, POR PROA O POR POPA MEDIANTE TRASLACIÓN LONGITUDINAL PREPONDERANTE EN OBRAS DE ATRAQUE FIJAS.

Este tipo de maniobra de atraque es común en buques de pequeño desplazamiento y cuando es necesario realizar la maniobra de atraque con una gran rapidez. Es decir, en general cuando el atraque es para buques que pertenecen a líneas regulares con alta frecuencia de llegadas y con reducidos tiempos de servicio. En este caso, la maniobra de atraque consiste en una aproximación longitudinal directa bajo el control del buque y sin utilización de medios auxiliares, teniendo lugar el impacto directamente contra la obra de atraque lateral o, cuando existe, contra la obra de atraque frontal en la que se sitúa, en su caso, la rampa o la estructura de defensa de la misma, utilizando en este último caso la obra de atraque lateral como guía. Para que se pueda considerar este tipo de maniobra de atraque, la separación del sistema de defensas en la obra de atraque lateral no debe exceder a la separación recomendada para obras de atraque continuas (0,15-0,17L), independientemente de la configuración continua o discontinua de dicha obra de atraque. Se ha utilizado esta metodología para abordar a los buques Pesqueros, Cruceros, Megayates y Embarcaciones de Recreo tanto a motor como a vela.



Mediante este tipo de maniobra, debe considerarse, por tanto, la energía que puede ser cedida por el buque al sistema de atraque en cada una de las alineaciones.

## Energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque lateral ( $E_{fl}$ ).

La energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque lateral ( $E_{fl}$ ) en el punto de impacto puede determinarse mediante la formulación general establecida para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante, considerando la componente normal a dicho atraque de la velocidad longitudinal de aproximación del buque. Es decir:

$$V_b = V_{b,\alpha} \text{ sen } \alpha$$

Siendo  $V_{b,\alpha}$  la velocidad del buque en la dirección de aproximación en el momento del impacto.

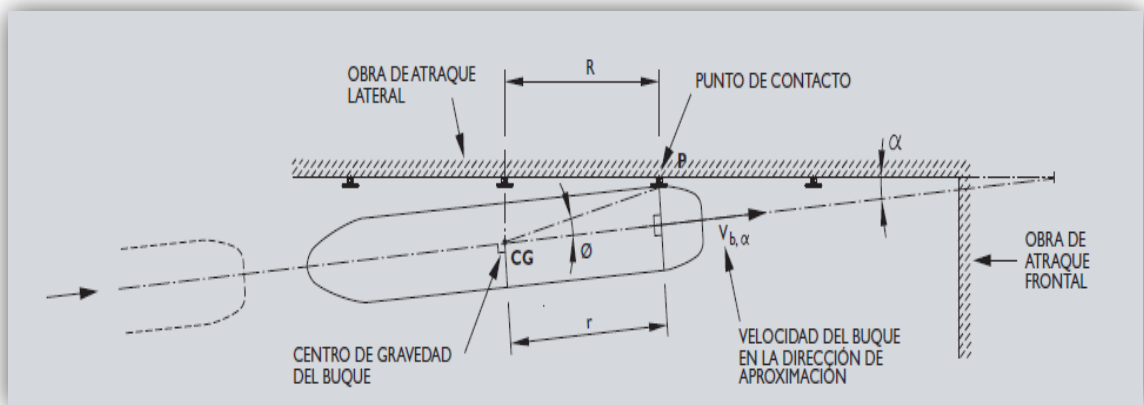


Imagen 15. Energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque lateral ( $E_{fl}$ ).

Por tanto, la energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque lateral ( $E_{fl}$ ) con este tipo de maniobra puede determinarse mediante la expresión:

$$E_f = \left[ \frac{1}{2} \cdot C_m \cdot M_b \cdot (V_b)^2 \right] \cdot C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s = \left[ \frac{1}{2} \cdot C_m \cdot M_b \cdot (V_{b,\alpha} \cdot \text{sen } \alpha)^2 \right] \cdot C_e \cdot C_g \cdot C_c$$

Siendo:

$E_b$ : Energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque ( $kJ$ ).

$C_m$ : Masa movilizada por el buque durante el atraque.



$M_b$ : Masa del buque ( $M_b = D/g$ ).

$D$ : Desplazamiento del buque ( $kN$ )

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).

$C_m$ : Coeficiente de masa hidrodinámica (adimensional).

$V_b, \alpha$ : La velocidad del buque en la dirección de aproximación en el momento del impacto ( $m/s$ ).

$\alpha$ : El ángulo de aproximación al atraque.

$C_e$ : Coeficiente de excentricidad (adimensional).

$C_g$ : Coeficiente geométrico del buque (adimensional).

$C_c$ : Coeficiente de configuración del atraque (adimensional).

$C_s$ : Coeficiente de rigidez del sistema de atraque (adimensional).

La determinación de la energía cinética se lleva a cabo considerando las siguientes indicaciones proporcionadas por la ROM2.0-11:

- Para la determinación de los coeficientes  $C_g$ ,  $C_c$  y  $C_s$  se ha aplicado lo definido para dichos coeficientes en los epígrafes 5.1 y 5.2 de esta memoria .A menos que se justifique la adopción de otros valores, para aproximaciones longitudinales al atraque lateral se recomienda considerar como valor nominal del coeficiente de masa hidrodinámica  $C_m = 1,10$ , independientemente del resguardo bajo quilla.
- No se considera la realización de este tipo de maniobra de atraque en condiciones climáticas clasificadas como desfavorables.
- Se ha tomado el valor  $V_b, \alpha = 3 \text{ m/s}$ , al estimar que la maniobra de atraque es condiciones moderadas.
- Para la determinación del valor nominal del coeficiente de excentricidad ( $C_e$ ) se ha procedido según lo dispuesto a estos efectos en el apartado 5.1 de este proyecto, con las siguientes modificaciones.

**Para el ángulo formado entre el vector velocidad de aproximación del buque y la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque ( $\phi$ ):**

$$\phi = \arctg (B/2r); \text{ siendo } B \text{ la manga del buque.}$$

**Para la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque, medida sobre el eje longitudinal del buque ( $r$ ):**

$$r = (1/4) \cdot L$$

**Para la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque (R):**

$$R = r \cdot \cos \alpha - (B/2) \cdot \sin \alpha$$

**Para el coeficiente de bloque:** 0,45-0,85

**Para el ángulo de aproximación ( $\alpha$ ):** 15°

## Energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque frontal ( $E_{ff}$ )

La energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque frontal ( $E_{ff}$ ) en el punto de impacto, puede determinarse mediante la formulación general establecida para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante; considerando la componente normal a dicho atraque de la velocidad longitudinal de aproximación del buque, como:

$$V_b = V_{b,\alpha} \cdot \cos \alpha$$

Siendo  $V_{b,\alpha}$  la velocidad del buque en la dirección de aproximación en el momento del impacto.

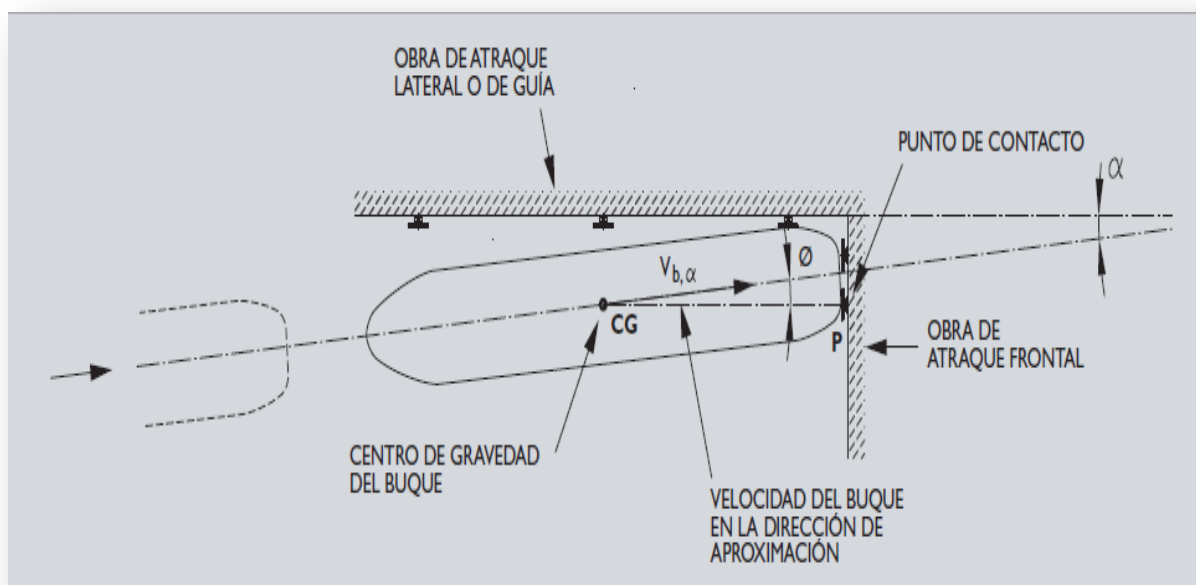


Imagen 16. Energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque frontal ( $E_{ff}$ ).

Por tanto, la energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque lateral ( $E_{fF}$ ) con este tipo de maniobra puede determinarse mediante la expresión:

$$E_{fF} = \left[ \frac{1}{2} \cdot (M_b) (V_{b,\alpha} \cdot \cos \alpha)^2 \right]$$

Siendo:

**$M_b$** : Masa del buque ( $M_b = D/g$ ).

**$V_{b,\alpha}$** : La velocidad del buque en la dirección de aproximación en el momento del impacto ( $m/s$ ).

**$\alpha$** : El ángulo de aproximación al atraque.

La determinación de la energía cinética se lleva a cabo considerando las siguientes indicaciones proporcionadas por la ROM2.0-11:

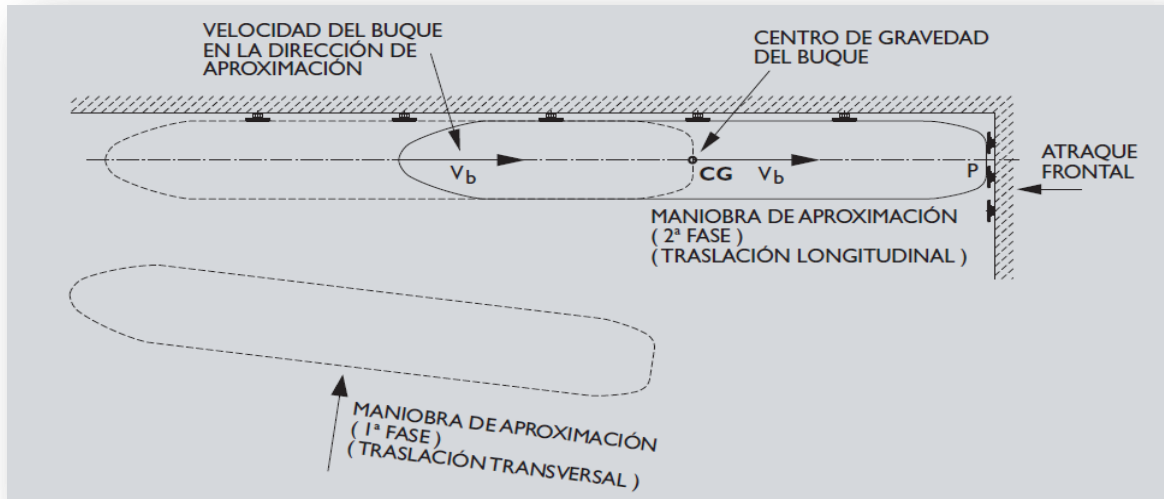
- El coeficiente de excentricidad puede adoptarse igual a 1 debido a que, en este tipo de maniobra, el ángulo formado entre el vector velocidad de aproximación del buque y la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del barco es menor de  $10^\circ$  y que los valores frecuentes observados por el resto de los coeficientes que intervienen en la formulación están próximos a la unidad.
- Cuando las condiciones climáticas y operativas en las que se considera la realización de la maniobra en condiciones climáticas moderadas, se utiliza  $V_{b,\alpha}:1 m/s$ .
- No se considerará la realización de este tipo de maniobra de atraque en condiciones climáticas desfavorables.
- Se puede adoptar  $15^\circ$  como valor nominal del ángulo de aproximación.

## 5.4 ATRAQUE POR PROA O POPA MEDIANTE TRASLACIÓN LONGITUDINAL EN OBRAS DE ATRAQUE FIJAS, A PARTIR DE BUQUE PARADO

Este tipo de maniobra de atraque es común en buques ferries, ro-ro y transportadores de coches que utilizan rampas a proa o popa, cuando son de gran tamaño o la aproximación a la instalación de atraque es difícil o se hace con medios auxiliares. En este caso, la maniobra de atraque se divide en dos fases. Primero una

aproximación a un atraque lateral mediante una traslación transversal o longitudinal preponderante, para a continuación, y desde una situación prácticamente de parada, aproximarse al atraque de proa o popa mediante una lenta traslación longitudinal.

Para la determinación de la energía cinética cedida al atraque lateral será de aplicación los apartados anteriores 5.1 y 5.3, en función del tipo de la maniobra realizada en la primera fase de la operación.



*Imagen 17. Atraque por proa o popa mediante traslación longitudinal a obras de atraque fijas a partir de buque parado.*

Al igual que para la determinación de la energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque frontal mediante maniobra de traslación longitudinal predominante, en el caso de maniobra de traslación longitudinal pura a partir de buque parado la energía cinética cedida al atraque frontal ( $E_{fF}$ ) en el punto de impacto puede determinarse mediante la expresión:

$$E_{fF} = \left[ \frac{1}{2} \cdot M_b \cdot (V_b)^2 \right]$$

En este caso se ha realizado el estudio para condiciones climáticas desfavorables, adoptándose 0,5 m /s como valor representativo de la velocidad de aproximación.

## 6. RESULTADOS

Tras aplicar el método descrito a los distintos casos de estudio se han obtenido los valores de energía cinética que se analizan a continuación:

## 6.1 ATRAQUE LATERAL CON TRASLACIÓN TRANSVERSAL EN ATRAQUE FIJO CONTINUO

TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Mb-Δpc (t)	Vel. Atraque (m/s)		Cm	Ce		Cg	Cc	Cs	Energía Cinética (KJ)	
				Con remolcadores	Sin remolcadores		Con Remolcadores	Sin remolcadores				Con Remolcadores	Sin remolcadores
GRANELEROS ( Bulk carriers ),	VLBC	400.000	460.000	0,090	0,250	1,785	0,605	0,614	0,95	0,9	0,9	1.547,671	12.123,983
		350.000	406.000	0,090	0,250	1,785	0,602	0,612	0,95	0,9	0,9	1.360,676	10.657,982
		300.000	350.000	0,090	0,250	1,785	0,600	0,609	0,95	0,9	0,9	1.168,493	9.151,700
		250.000	287.000	0,090	0,250	1,785	0,599	0,608	0,95	0,9	0,9	956,847	7.493,783
		200.000	232.000	0,090	0,250	1,785	0,598	0,608	0,95	0,9	0,9	772,716	6.051,543
	CAPEZISE	150.000	177.000	0,090	0,250	1,785	0,598	0,607	0,95	0,9	1	654,107	5.122,446
		100.000	121.000	0,090	0,250	1,785	0,597	0,606	0,95	0,9	1	446,37649	3.495,481
		70.000	86.000	0,090	0,253	1,785	0,585	0,593	0,95	0,9	1	311,009	2.492,596
	HANDYMAX	50.000	62.600	0,090	0,263	1,785	0,665	0,690	0,95	0,9	1	257,155	2.280,082
		30.000	38.600	0,090	0,282	1,785	0,664	0,689	0,95	0,9	1	158,517	1.615,913
	HANDYSIZE	20.000	26.300	0,092	0,295	1,785	0,664	0,689	0,95	0,9	1	112,725	1.203,415
		15.000	20.000	0,100	0,300	1,785	0,663	0,688	0,95	0,9	1	101,139	945,110
		10.000	13.700	0,130	0,330	1,780	0,661	0,686	0,95	0,9	1	116,390	778,689
	MINI BULK CARRIERS	7.000	9.740	0,140	0,352	1,769	0,659	0,684	0,95	0,9	1	95,181	624,708
		5.000	7.090	0,160	0,365	1,757	0,659	0,685	0,95	0,9	1	89,932	485,913

**Tabla 6.** Energía cinética cedida por buques graneleros en atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante a obras de atraque fijas continuas.

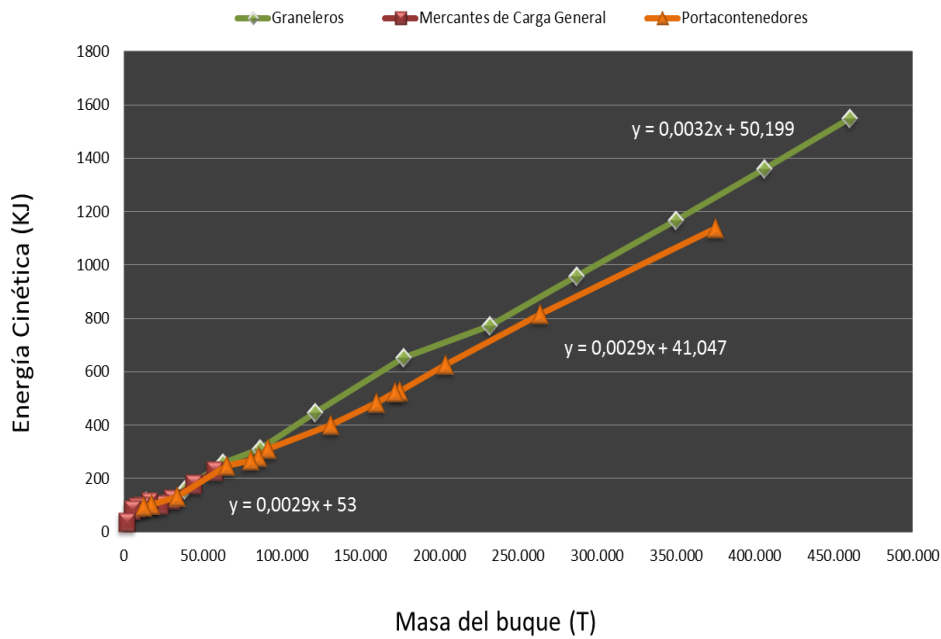
TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Mb-Δpc (t)	Vel. Atraque (m/s)		Cm	Ce		Cg	Cc	Cs	Energía Cinética (kJ)	
				Con remolcadores	Sin remolcadores		Con Remolcadores	Sin remolcadores				Con Remolcadores	Sin remolcadores
MERCANTES DE CARGA GENERAL (General Cargo Ships)	HANDYMAX	40.000	57.000	0,090	0,267	1,785	0,649	0,675	0,95	0,9	1	228,852	2.093,111
		30.000	44.000	0,090	0,275	1,785	0,650	0,676	0,95	0,9	1	176,983	1.717,203
		20.000	30.100	0,090	0,290	1,785	0,652	0,677	0,95	0,9	1	121,359	1.309,494
		15.000	22.900	0,095	0,300	1,785	0,653	0,678	0,95	0,9	1	103,009	1.067,572
		10.000	15.700	0,120	0,327	1,785	0,654	0,680	0,95	0,9	1	112,997	872,037
	SEAWAYMAX	7.000	11.200	0,130	0,343	1,781	0,656	0,682	0,95	0,9	1	94,606	684,489
		5.040	8.150	0,150	0,360	1,769	0,658	0,684	0,95	0,9	1	91,286	546,485
		3.000	5.040	0,180	0,375	1,750	0,659	0,685	0,95	0,9	1	80,575	363,476
		1.000	1.790	0,200	0,400	1,696	0,664	0,690	0,95	0,9	1	34,515	143,496

**Tabla 7.** Energía cinética cedida por buques mercantes de carga general en atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante a obras de atraque fijas continuas.

TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Mb-Apc (t)	Vel. Atraque (m/s)		Cm	Ce		Cg	Cc	Cs	Energía Cinética (KJ)	
				Con remolcadores	Sin remolcadores		Con Remolcadores	Sin remolcadores				Con Remolcadores	Sin remolcadores
PORTACONTENEDORES (Containers Ships).	MALACCAMAX	>18.000	375.000	0,090	0,250	1,785	0,545	0,553	0,95	0,9	0,9	1.136,997	8.908,764
	ULCV	15.000	264.000	0,090	0,250	1,785	0,554	0,563	0,95	0,9	0,9	814,725	6.387,664
	SUEZMAX Y NEW-PANAMAX	12.000	204.000	0,090	0,250	1,785	0,552	0,561	0,95	0,9	0,9	627,197	4.916,777
	SUPER-POST PANAMAX	10.000	175.000	0,090	0,250	1,785	0,542	0,550	0,95	0,9	0,9	528,054	4.136,701
	SUPER-POST PANAMAX	9.000	172.000	0,090	0,250	1,785	0,546	0,554	0,95	0,9	0,9	522,730	4.096,139
	POST-PANAMAX	8.000	160.000	0,090	0,250	1,785	0,544	0,553	0,95	0,9	0,9	484,756	3.798,124
	POST-PANAMAX	6.000	131.000	0,090	0,250	1,785	0,549	0,558	0,95	0,9	0,9	400,653	3.140,263
	POST-PANAMAX	5.000	91.000	0,090	0,253	1,785	0,552	0,560	0,95	0,9	1	310,546	2.493,152
	PANAMAX	4.000	85.000	0,090	0,254	1,785	0,535	0,543	0,95	0,9	1	281,364	2.274,017
	PANAMAX	3.000	80.500	0,090	0,255	1,785	0,536	0,544	0,95	0,9	1	267,122	2.176,186
	PANAMAX	2.000	65.000	0,090	0,263	1,785	0,613	0,639	0,95	0,9	1	246,471	2.193,437
	FEEDER	1.000	33.500	0,090	0,285	1,785	0,629	0,656	0,95	0,9	1	130,338	1.362,529
	FEEDER	500	17.400	0,110	0,315	1,784	0,641	0,668	0,95	0,9	1	103,062	881,132
	FEEDER	300	12.300	0,125	0,340	1,773	0,645	0,673	0,95	0,9	1	94,098	725,870

**Tabla 8.** Energía cinética cedida por buques portacontenedores en atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante a obras de atraque fijas continuas.

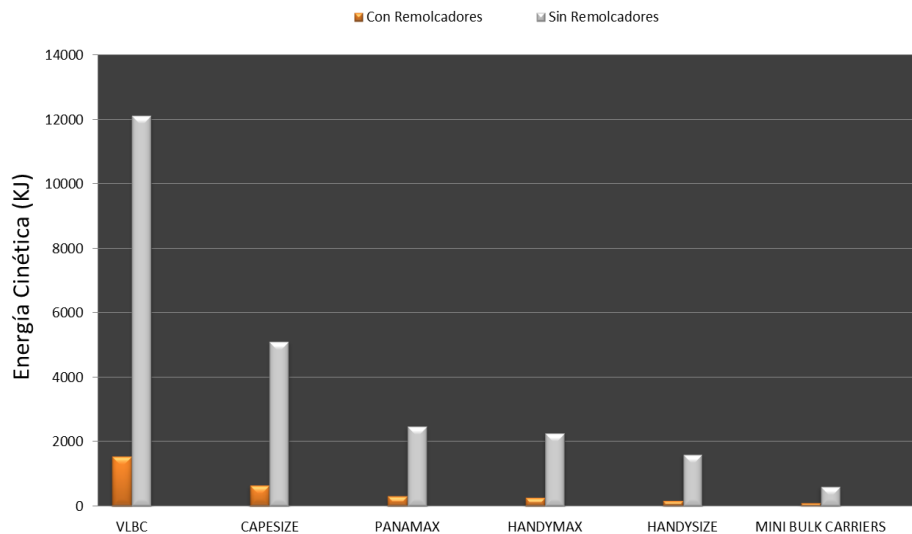




**Gráfico 2.** Energía cinética cedida en función de la masa del buque; Atraque lateral con traslación transversal en atraque fijo continuo.

Tras observar el gráfico se deduce que pese a las diferencias existentes entre los buques, la relación intrínseca entre energía cinética cedida y la masa del barco se puede ajustar a una misma correlación; siendo los parámetros más importantes la velocidad de aproximación del buque y la masa del mismo. Al hablar de la masa de los barcos, se reflejan unos valores notablemente inferiores en el caso de Buques Mercantes de carga general; este hecho encuentra su origen en que representan una pequeña fracción de la flota que se ha visto poco desarrollada por los avances tecnológicos, encontrando limitaciones en sus dimensiones y tonelaje en relación al resto de navíos.

### GRANELEROS



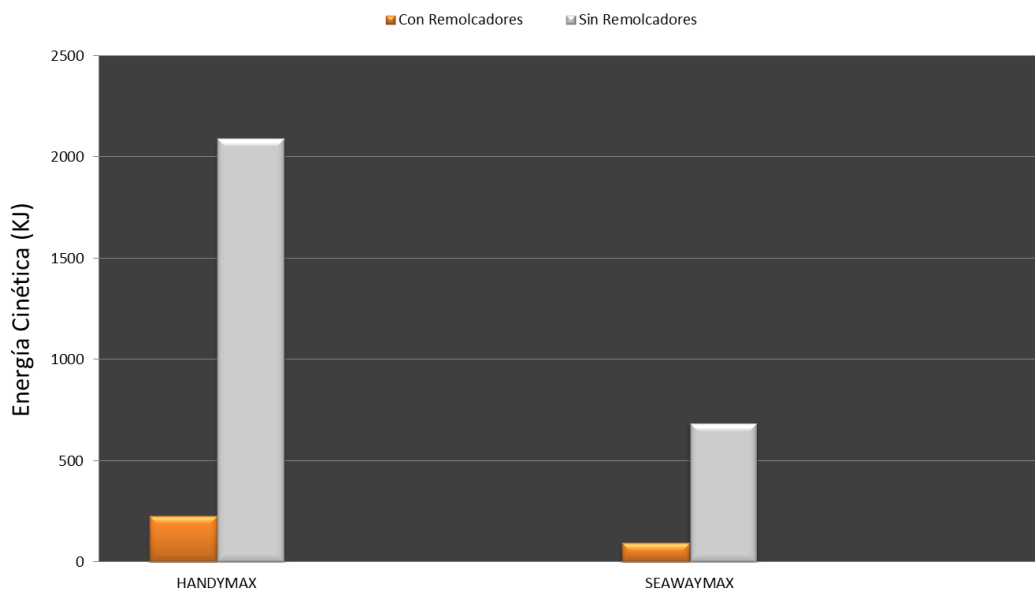
**Gráfico 3.** Energía cinética cedida por buques Graneleros con y sin ayuda de remolcadores.

La influencia del uso de remolcadores durante el atraque se refleja en una disminución de un 87,6 % de la energía cinética transmitida a las estructuras de atraque en el caso de los barcos Graneleros.

GRANELEROS	Energía Cinética (KJ)		DIFERENCIA %
	Con remolcadores	Sin Remolcadores	
VLBC	1.547,671	12.123,983	87,234
CAPE SIZE	654,107	5.122,446	87,231
PANAMAX	311,009	2.492,596	87,522
HANDYMAX	257,155	2.280,082	88,721
HANDYSIZE	158,517	1.615,913	90,190
MINI BULK CARRIERS	95,181	624,708	84,763
			87,610

**Tabla 9.** Energía cinética cedida por buques Graneleros con y sin ayuda de remolcadores.

### MERCANTES DE CARGA GENERAL



**Gráfico 4.** Energía cinética cedida por buques Mercantes de Carga General con y sin ayuda de remolcadores.

CARGA GENERAL	Energía Cinética (KJ)		DIFERENCIA %
	Con remolcadores	Sin Remolcadores	
HANDYMAX	228,852	2.093,111	89,066
SEAWAYMAX	94,606	684,489	86,178
			87,622

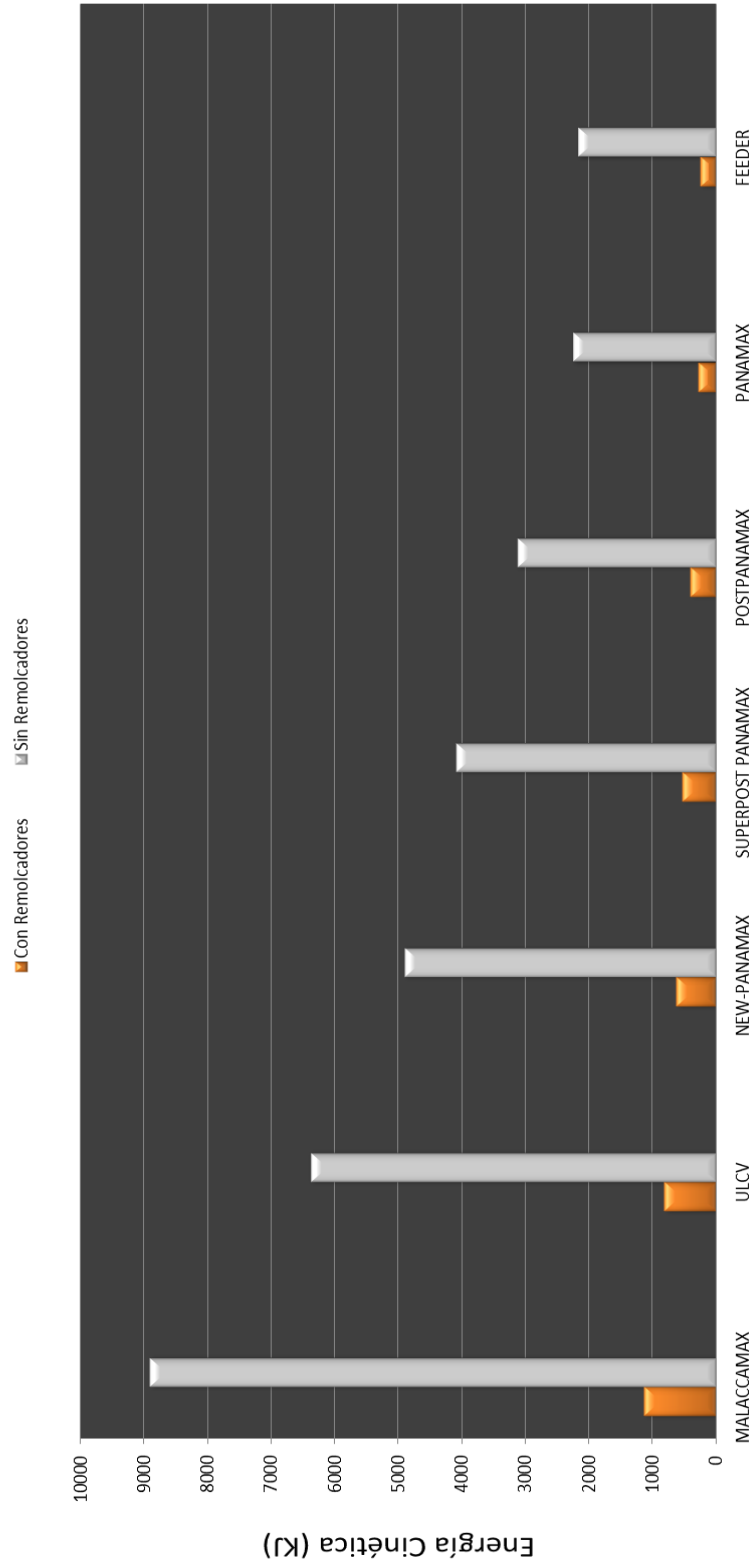
**Tabla 10.** *Energía cinética cedida por buques Mercantes de Carga General con y sin ayuda de remolcadores.*

En el caso de barcos Mercantes de Carga General y Portacontenedores, la presencia de remolcadores supone una disminución de energía del 87,62 y 87,51 respectivamente; valores muy similares a los obtenidos para los buques graneleros.

PORTACONTENEDORES	Energía Cinética (KJ)		DIFERENCIA %
	Con remolcadores	Sin Remolcadores	
MALACCAMAX	1.136,997	8.908,764	87,237
ULCV	814,725	6.387,664	87,245
NEW-PANAMAX	627,197	4.916,777	87,243
SUPERPOST PANAMAX	522,730	4.096,139	87,238
POSTPANAMAX	400,653	3.140,263	87,241
PANAMAX	281,364	2.274,017	87,627
FEEDER	246,471	2.193,437	88,763
			87,513

**Tabla 11.** *Energía cinética cedida por buques Portacontenedores con y sin ayuda de remolcadores.*

## PORTACONTENEDORES



**Gráfico 5.** Energía cinética cedida por buques Portacontenedores con y sin ayuda de remolcadores.

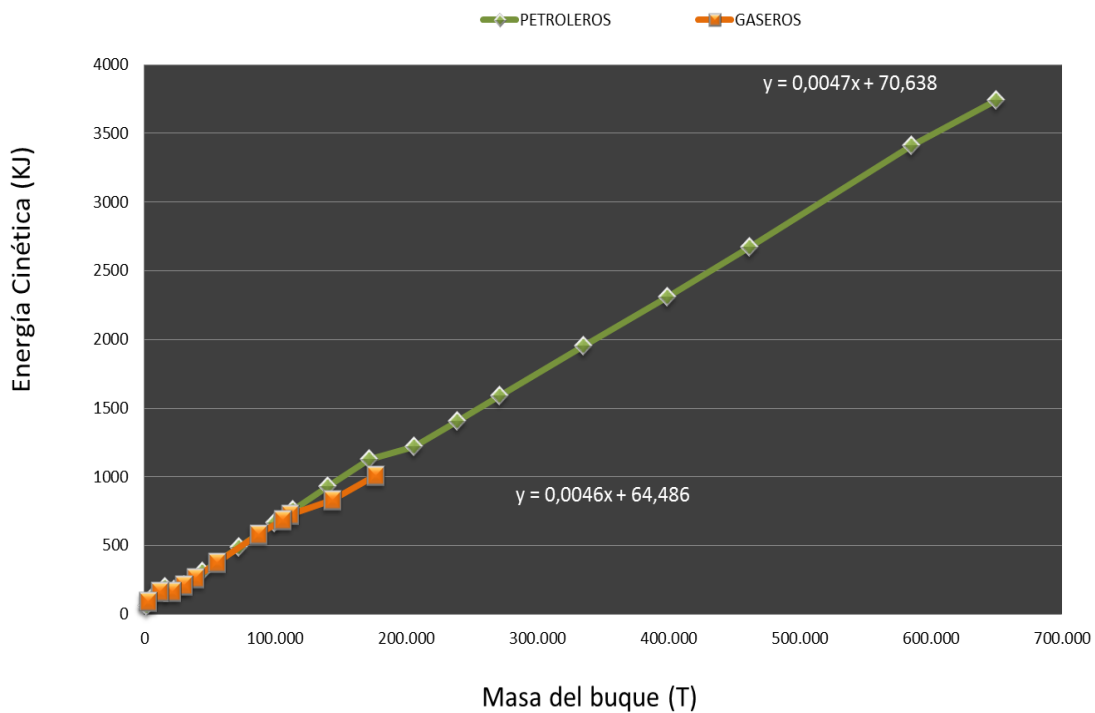
## 6.2 ATRAQUE LATERAL CON TRASLACIÓN TRANSVERSAL EN ATRAQUE FIJO DISCONTINUO

TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Mb-Apc (t)	Vel. Atraque (m/s)		Cm	Ce		Cc	Cs	Energía Cinética (Kj)	
				Con remolcadores	Sin remolcadores		Con Remolcadores	Sin remolcadores			Con Remolcadores	Sin remolcadores
PETROLEROS Y TRANSPORTADORES DE PRODUCTOS PETROLIFEROS Y QUÍMICOS (Tankers).	SUPERTANK ERS	500.000	650.000	0,090	0,250	1,785	0,884	0,887	1	0,9	3.739,940	28.966,981
		450.000	585.000	0,090	0,250	1,785	0,896	0,899	1	0,9	3.412,925	26.424,376
	ULCC	350.000	462.000	0,090	0,250	1,785	0,887	0,891	1	0,9	2.668,812	20.667,926
		300.000	399.000	0,090	0,250	1,785	0,889	0,892	1	0,9	2.308,091	17.872,555
	VLCC	250.000	335.000	0,090	0,250	1,785	0,895	0,898	1	0,9	1.951,661	15.110,085
		200.000	271.000	0,090	0,250	1,785	0,899	0,902	1	0,9	1.586,753	12.282,867
	SUEZMAX	175.000	238.700	0,090	0,250	1,785	0,902	0,905	1	0,9	1.402,016	10.852,072
		150.000	206.000	0,090	0,250	1,785	0,907	0,910	1	0,9	1.216,910	9.417,533
	AFRAMAX	125.000	171.600	0,090	0,250	1,785	0,908	0,911	1	1	1.126,923	8.720,836
		100.000	140.000	0,090	0,250	1,785	0,920	0,922	1	1	931,688	7.207,425
	PANAMAX	80.000	113.000	0,090	0,250	1,785	0,928	0,930	1	1	758,731	5.867,511
		70.000	99.200	0,090	0,250	1,785	0,932	0,934	1	1	668,448	5.168,953
	PRODUCT CARRIER	50.000	72.000	0,090	0,260	1,785	0,938	0,940	1	1	488,691	4.086,277
		30.000	44.200	0,090	0,275	1,785	0,960	0,961	1	1	306,912	2.869,021
		20.000	30.000	0,090	0,290	1,785	0,974	0,974	1	1	211,256	2.195,170
		15.000	22.800	0,095	0,300	1,785	0,982	0,982	1	1	180,392	1.799,891
		10.000	15.500	0,120	0,323	1,784	0,982	0,983	1	1	195,749	1.418,964
		5.000	7.970	0,145	0,360	1,764	0,983	0,983	1	1	145,342	896,365
	1.000	1.710	0,200	0,400	1,691	0,999	0,999	1	1	58,017	232,070	

**Tabla 12.** Energía cinética cedida por buques petroleros en atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante en obras de atraque fijas discontinuas..

TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Mb-Apc (t)	Vel. Atraque (m/s)		Cm	Ce		Cg	Cc	Cs	Energía Cinética (KJ)		
				Con remolcadores	Sin remolcadores		Con Remolcadores	Sin remolcadores				Con Remolcadores	Sin remolcadores	
GASEROS ( Gas Carriers ).	Q-MAX LNGC (266.000 m <sup>3</sup> )	160.000	176.000	0,090	0,250	1,785	0,879	0,883	1	1	0,9	1.007,263	7.802,342	
	Q-FLEX LNGC (220.000 m <sup>3</sup> )	130.000	143.000	0,090	0,250	1,785	0,890	0,893	1	1	0,9	828,317	6.413,784	
	VLGC	Esférico (140.000 m <sup>3</sup> )	100.000	110.600	0,090	0,250	1,785	0,903	0,906	1	1	1	722,531	5.592,413
		Membrana ( 140.000 m <sup>3</sup> )	95.000	105.000	0,090	0,250	1,785	0,900	0,903	1	1	1	683,794	5.292,955
	LPGC	( 100.000 m <sup>3</sup> )	50.000	87.000	0,090	0,253	1,785	0,917	0,919	1	1	1	577,001	4.571,425
		( 70.000 m <sup>3</sup> )	30.000	55.100	0,090	0,267	1,785	0,937	0,939	1	1	1	373,400	3.292,932
		( 30.000 m <sup>3</sup> )	20.000	38.500	0,090	0,283	1,785	0,953	0,955	1	1	1	265,450	2.628,515
	LPGC	( 20.000 m <sup>3</sup> )	15.000	29.900	0,090	0,29	1,785	0,965	0,966	1	1	1	208,603	2.168,132
		( 10.000 m <sup>3</sup> )	10.000	20.900	0,095	0,295	1,785	0,979	0,979	1	1	1	164,848	1.590,584
		( 7.500 m <sup>3</sup> )	5.000	11.300	0,130	0,343	1,781	0,979	0,980	1	1	1	166,585	1.160,374
		( 1.500 m <sup>3</sup> )	1.000	2.740	0,195	0,391	1,725	0,998	0,998	1	1	1	89,758	360,881

**Tabla 13.** Energía cinética cedida por buques gaseros en atraque lateral o de costado mediante trastiación transversal preponderante en obras de atraque fijas discontinuas.



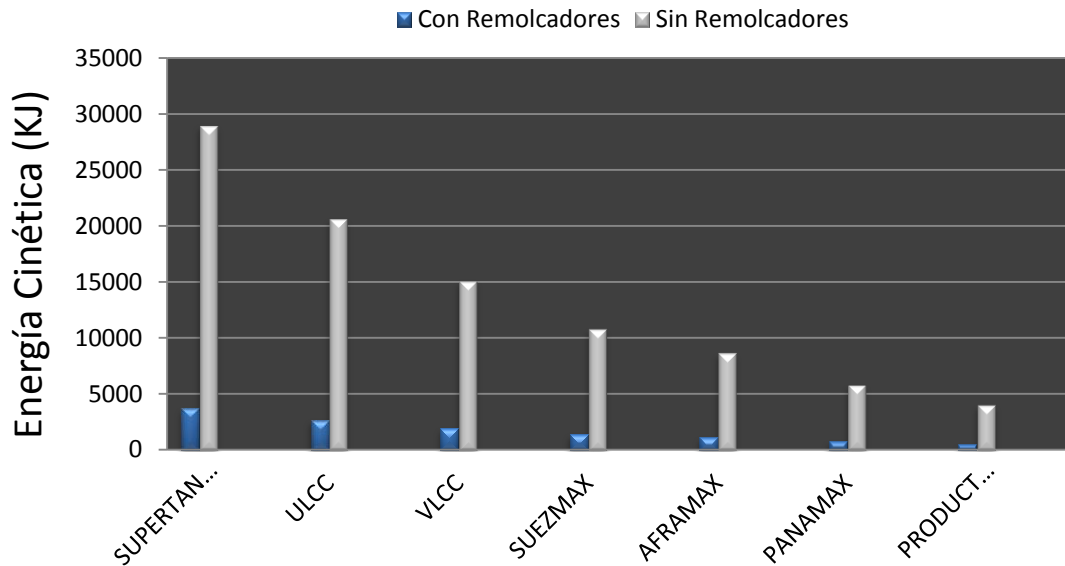
**Gráfico 6.** *Energía cinética cedida en función de la masa del buque; Atraque lateral con traslación transversal en atraque fijo continuo.*

De este gráfico se extrae la conclusión de que los buques petroleros transmiten una cantidad mayor de energía cinética como consecuencia de una capacidad de carga superior; manifestando de nuevo que las diferencias geométricas y estructurales existentes entre los buques representan una influencia mínima en la cantidad de energía cinética cedida, siendo realmente las variables influyentes la masa del buque y la velocidad de aproximación del mismo.

PETROLEROS	Energía Cinética (KJ)		DIFERENCIA %
	Con remolcadores	Sin Remolcadores	
SUPERTANKERS	3.739,940	28.966,981	87,088
ULCC	2.668,812	20.667,926	87,087
VLCC	1.951,661	15.110,085	87,083
SUEZMAX	1.402,016	10.852,072	87,080
AFRAMAX	1.126,923	8.720,836	87,077
PANAMAX	758,731	5.867,511	87,068
PRODUCT CARRIER	488,691	4.086,277	88,040
			<b>87,218</b>

**Tabla 14.** *Energía cinética cedida por buques Petroleros con y sin ayuda de remolcadores.*

## PETROLEROS



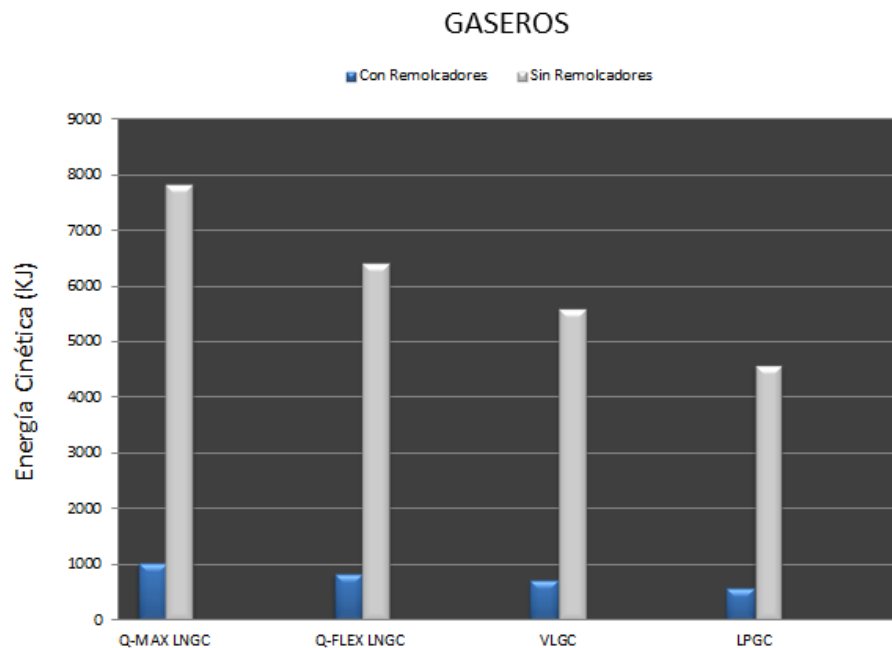
**Gráfico 7.** Energía cinética cedida por buques Petroleros con y sin ayuda de remolcadores.

GASEROS	Energía Cinética (KJ)		DIFERENCIA %
	Con remolcadores	Sin Remolcadores	
Q-MAX LNGC	1.007,263	7.802,342	87,090
Q-FLEX LNGC	828,317	6.413,784	87,085
VLGC	722,531	5.592,413	87,080
LPGC	577,001	4.571,425	87,378
			87,158

**Tabla 15.** Energía cinética cedida por buques Gaseros con y sin ayuda de remolcadores.

En el caso de Petroleros y Gaseros, se produce una disminución de la energía del 87,21% y 87,15% respectivamente.





**Gráfico 8.** *Energía cinética cedida por buques Gaseros con y sin ayuda de remolcadores.*

Por lo tanto, observando los resultados obtenidos, se establece la influencia del uso de remolcadores durante el atraque origina una diferencia de un 87,42% en la cantidad de energía cinética desarrollada por los buques.

## 6.3 ATRAQUE LATERAL, POR PROA O POR POPA MEDIANTE TRASLACIÓN LONGITUDINAL PREPONDERANTE EN OBRAS DE ATRAQUE FIJAS

Este tipo de maniobra de atraque es común en buques de pequeño desplazamiento, es decir, de poco peso. Por tanto, la masa de los mismos también es pequeña en relación al resto de navíos, y al ser ésta una variable determinante de la cantidad de energía, se traduce en una cantidad inferior de energía cinética cedida a las estructuras de atraque como muestran las siguientes tablas:

TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Mb-Apc (t)	Vel. Atrache (m/s)		Cm	Ce	C <sub>g</sub>	Cc	Cs	Energía Cinética (KJ)	
				Atrache Lateral	Atrache frontal						Atrache Lateral	Atrache frontal
CRUCEROS (Cruise Ships).	6.300	225.000	110.000	0,776	0,965	1,1	0,969	1	0,9	0,9	28.644,225	51.315,874
	4.500	155.000	77.000	0,776	0,965	1,1	0,977	1	0,9	0,9	20.216,658	35.921,111
	4.000	145.000	72.000	0,776	0,965	1,1	0,975	1	0,9	0,9	18.866,090	33.588,572
	3.000	140.000	70.000	0,776	0,965	1,1	0,973	1	0,9	0,9	18.304,309	32.655,556
	2.500	120.000	65.700	0,776	0,965	1,1	0,973	1	0,9	1	19.089,384	30.649,572
	2.000	95.000	47.500	0,776	0,965	1,1	0,969	1	0,9	1	13.743,142	22.159,127
	1.500	70.000	39.700	0,776	0,965	1,1	0,973	1	0,9	1	11.535,297	18.520,365
	1.000	50.000	29.200	0,776	0,965	1,1	0,967	1	0,9	1	8.430,277	13.622,032
	800	35.000	21.000	0,776	0,965	1,1	0,958	1	0,9	1	6.006,703	9.796,666
	500	30.000	18.000	0,776	0,965	1,1	0,956	1	0,9	1	5.136,094	8.397,143
	250	20.000	12.000	0,776	0,965	1,1	0,953	1	0,9	1	3.415,675	5.598,095
	200	15.000	9.000	0,776	0,965	1,1	0,951	1	0,9	1	2.555,339	4.198,571
	175	10.000	6.000	0,776	0,965	1,1	0,949	1	0,9	1	1.699,251	2.799,047
	150	6.000	3.600	0,776	0,965	1,1	0,941	1	0,9	1	1.011,404	1.679,428
	-	4.000	2.400	0,776	0,965	1,1	0,938	1	0,9	1	672,502	1.119,619
-	2.000	1.200	0,776	0,965	1,1	0,934	1	0,9	1	334,502	559,809	

**Tabla 16.** Energía cinética cedida por buques cruceros para atraque lateral, por proa o por popa mediante traslación longitudinal preponderante en obras de atraque fijas.

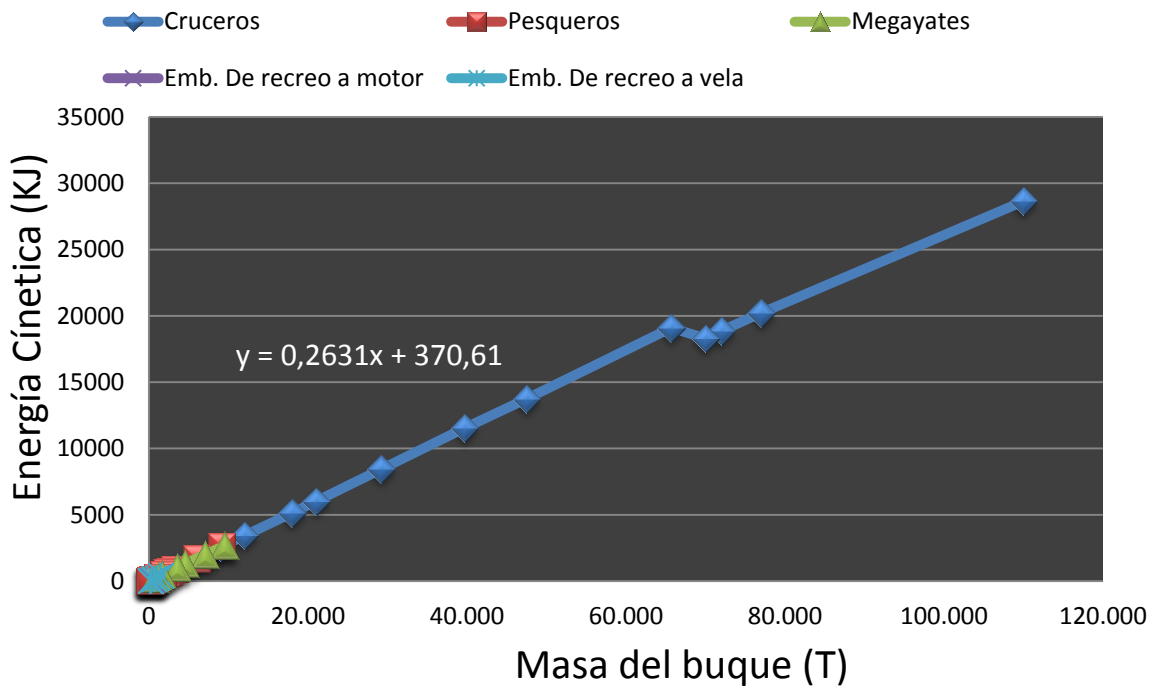
TIPO DE BUQUE	CLASE	TRB	Mb- $\Delta$ pc (t)	Vel. Atraque (m/s)		Cm	Ce	Cg	Cc	Cs	Energía Cinética (KJ)	
				Atraque Lateral	Atraque frontal						Atraque Lateral	Atraque frontal
PESQUEROS ( Fishing Vessels).	PESQUEROS DE ALTURA Y GRAN ALTURA.	7.500	9.100	0,776	0,965	1,1	0,964	1	0,9	1	2.617,860	4.245,222
		5.000	6.000	0,776	0,965	1,1	0,953	1	0,9	1	1.707,193	2.799,047
		2.500	3.250	0,776	0,965	1,1	0,947	1	0,9	1	919,337	1.516,150
		2.000	2.500	0,776	0,965	1,1	0,950	1	0,9	1	709,306	1.166,269
		1.500	2.200	0,776	0,965	1,1	0,953	1	0,9	1	625,970	1.026,317
		1.000	1.750	0,776	0,965	1,1	0,947	1	0,9	1	495,051	816,388
		500	1.000	0,776	0,965	1,1	0,924	1	0,9	1	275,829	466,507
		300	600	0,776	0,965	1,1	0,893	1	0,9	1	159,933	279,904
		200	400	0,776	0,965	1,1	0,912	1	0,9	1	108,869	186,603
		150	300	0,776	0,965	1,1	0,902	1	0,9	1	80,805	139,952
		100	200	0,776	0,965	1,1	0,880	1	0,9	1	52,563	93,301
		75	165	0,776	0,965	1,1	0,883	1	0,9	1	43,524	76,973
		50	115	0,776	0,965	1,1	0,865	1	0,9	1	29,714	53,648
		25	60	0,776	0,965	1,1	0,817	1	0,9	1	14,642	27,990
		15	40	0,776	0,965	1,1	0,780	1	0,9	1	9,319	18,660
PESQUEROS DE BAJURA	PESQUEROS DE BAJURA	160 m	9.500	0,776	0,965	1,1	0,939	1	0,9	1	2.662,771	4.431,825
		140 m	7.000	0,776	0,965	1,1	0,958	1	0,9	1	2.003,205	3.265,555
		120 m	4.500	0,776	0,965	1,1	0,965	1	0,9	1	1.295,933	2.099,285
		100 m	3.500	0,776	0,965	1,1	0,961	1	0,9	1	1.003,780	1.632,777
		70 m	1.600	0,776	0,965	1,1	0,948	1	0,9	1	452,949	746,412
MEGAYATES ( según L )	MEGAYATES ( según L )	60 m	1.100	0,776	0,965	1,1	0,946	1	0,9	1	310,748	513,158
		50 m	700	0,776	0,965	1,1	0,954	1	0,9	1	199,484	326,555

**Tabla 17.** Energía cinética cedida por buques pesqueros y megayates para atraque lateral, por proa o por popa mediante traslación longitudinal preponderante en obras de atraque fijas.

TIPO DE BUQUE	CLASE	$\Delta pc$ (t)	Mb- $\Delta pc$ (t)	Vel. Atraque (m/s)		Cm	Ce	Cg	Cc	Cs	Energía Cinética (Kj)		
				Atraque Lateral	Atraque frontal						Atraque Lateral	Atraque frontal	
EMBARCACIONES DEPORTIVAS Y DE RECREO A MOTOR ( Motor Yachts and Boats).	SUPERYATES	500	500	0,776	0,965	1,1	0,950	1	0,9	1	141,864	233,253	
		250	250	0,776	0,965	1,1	0,946	1	0,9	1	70,624	116,626	
	YATES A MOTOR	150	150	0,776	0,965	1,1	0,925	1	0,9	1	41,427	69,976	
EMBARCACIONES DEPORTIVAS Y DE RECREO A VELA ( Sailing Yachts and Boats).	YATES VELEROS	$\Delta pc$ (t)	Mb- $\Delta pc$ (t)	Vel. Atraque (m/s)		Cm	Ce	Cg	Cc	Cs <td colspan="2">Energía Cinética (Kj)</td>	Energía Cinética (Kj)		
		$\Delta pc$ (t)	Mb- $\Delta pc$ (t)	Atraque Lateral	Atraque frontal	Atraque Lateral	Atraque frontal	Atraque Lateral	Atraque frontal	Atraque Lateral	Atraque frontal	Atraque Lateral	Atraque frontal
		1.500	1.500	0,776	0,965	1,1	0,966	1	0,9	1	432,805	699,761	
		1.000	1.000	0,776	0,965	1,1	0,961	1	0,9	1	286,788	466,507	
		650	650	0,776	0,965	1,1	0,952	1	0,9	1	184,852	303,230	
		550	550	0,776	0,965	1,1	0,950	1	0,9	1	156,057	256,579	
		190	190	0,776	0,965	1,1	0,931	1	0,9	1	52,827	88,636	
		125	125	0,776	0,965	1,1	0,929	1	0,9	1	34,680	58,313	

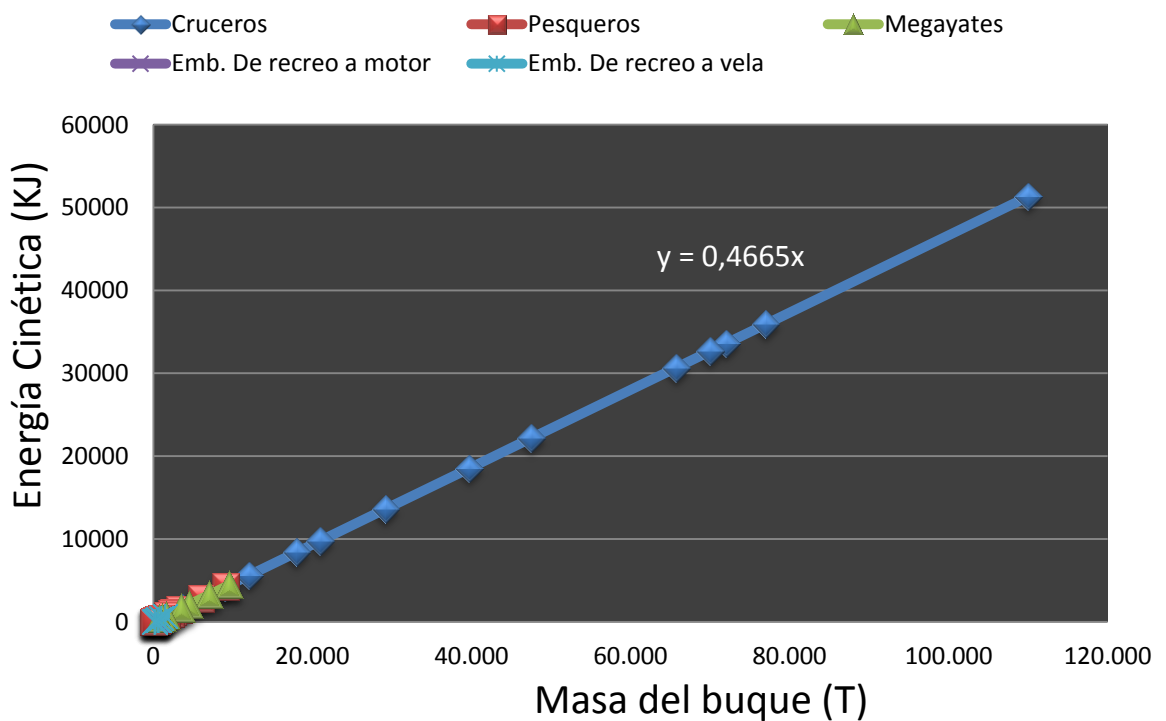
**Tabla 18.** Energía cinética cedida por embarcaciones deportivas para atraque lateral, por proa o por popa mediante traslación longitudinal preponderante en obras de atraque fijas.

### Atraque Lateral



**Gráfico 9.** Energía cinética cedida en el Atraque lateral o de costado mediante traslación longitudinal preponderante a obras de atraque fijas.

### Atraque Frontal



**Gráfico 10.** Energía cinética cedida en el Atraque por proa o por popa mediante traslación longitudinal preponderante a obras de atraque fijas.



Se observa que la masa de los cruceros es bastante superior a la correspondiente a otras embarcaciones pesqueras y de uso recreativo; y por tanto la cantidad de energía cinética cedida durante el ataque es mucho mayor. Pese a estas diferencias, la relación entre masa y energía sigue la misma correlación.

En el caso de la energía cedida en la maniobra de Atrake Lateral, encontramos valores entorno a un 35-40% inferior que los propios del Atrake Frontal. Esto se debe a que la incidencia del ángulo de aproximación es mayor para el caso del Atrake Frontal y a que en este tipo de atrake no se considera el factor de corrección del impacto.

Esta maniobra se ha considerado sin la utilización de medios auxiliares, lo que conlleva a una velocidad de aproximación mayor y por tanto mayores cantidades de energía cinética cedida a las estructuras de atrake. Dicho efecto se contrarresta al suponer que este tipo de maniobra de atrake no se realizará en condiciones climáticas clasificadas como desfavorables.

## 6.4 ATRAQUE POR PROA O POPA MEDIANTE TRASLACIÓN LONGITUDINAL EN OBRAS DE ATRAQUE FIJAS, A PARTIR DE BUQUE PARADO

TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Mb-Apc (t)	Vel. Atraque (m/s)	Energía Cinética (KJ)		
					Atraque Frontal	AL TL	AL TT Sin remolcadores
TRANSPORTADORES DE COCHES (Pure and Truck Car Carriers-PCC-PTCC).	8.000 Car Units	72.000	50.000	0,500	6.250	14.391,567	1.774,921
	7.000 Car Units	65.000	43.000	0,500	5.375	12.377,249	1.646,381
	6.000 Car Units	57.000	38.000	0,500	4.750	10.831,943	1.530,925
	5.000 Car Units	45.000	32.000	0,500	4.000	9.121,034	1.349,020
	4.000 Car Units	36.000	25.000	0,500	3.125	7.071,835	1.120,204
	3.000 Car Units	28.000	20.000	0,500	2.500	5.672,046	916,669
	2.000 Car Units	20.000	15.000	0,500	1.875	4.297,025	782,005
	1.000 Car Units	13.000	10.000	0,500	1.250	2.871,494	591,889
	700 Car Units	7.000	5.500	0,500	687,5	1.559,744	378,021
	RO-RO (Roll-On/Roll-off Ships).	15.000 ml	35.000	63.000	0,500	7.875	18.352,038
12.500 ml		30.000	55.600	0,500	6.950	16.130,464	1.926,321
8.500 ml		20.000	38.200	0,500	4.775	11.059,892	1.469,473
6.500 ml		15.000	29.300	0,500	3.662,5	8.464,723	1.217,767
4.000 ml		10.000	20.200	0,500	2.525	5.823,197	907,272
3.000 ml		7.000	14.500	0,500	1.812,5	4.160,677	779,072
2.750 ml		5.000	10.620	0,500	1.327,5	3.040,294	643,104
2.500 ml		3.000	6.630	0,500	828,75	1.888,955	447,7119
2.000 ml		2.000	4.560	0,500	570	1.296,092	322,489
1.250 ml		1.000	2.400	0,500	300	677,061	190,361

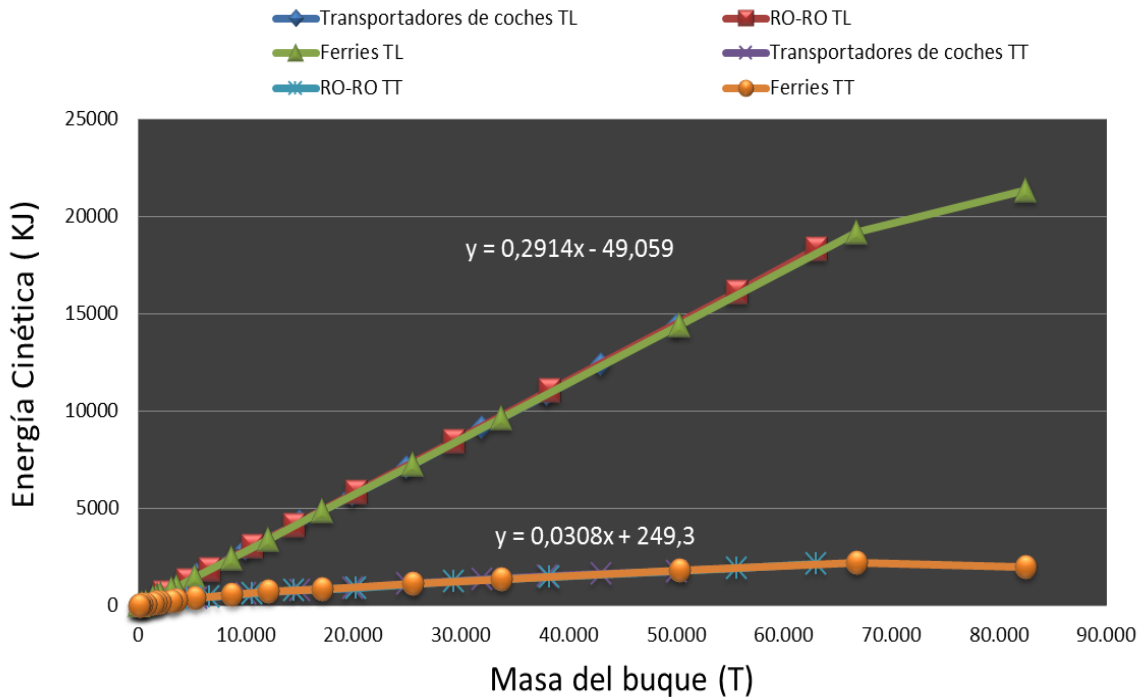
**Tabla 19.** Energía cinética cedida por buques transportadores de coches y RO-RO para atraque por proa o por popa mediante traslación longitudinal en obras de atraque fijas, a partir de buque parado.

TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Mb-Apc (t)	Vel. Atraque (m/s)	Energía Cinética (KJ)		
					Atraque Frontal	AL TL	AL TT Sin remolcadores
FERRIES	<b>FERRIES CONVENCIONALES</b> (Ro-Ro, Ro-Pax and Cruise Ferries ).	50.000	82.500	0,500	10.312,500	21.353,387	1.968,114
		40.000	66.800	0,500	8.350	19.212,591	2.228,184
		30.000	50.300	0,500	6.287,5	14.432,226	1.782,697
		20.000	33.800	0,500	4.225	9.649,136	1.376,884
		15.000	25.500	0,500	3.187,500	7.260,846	1.109,789
		10.000	17.100	0,500	2.137,500	4.856,987	850,476
		7.000	12.100	0,500	1.512,5	3.418,118	704,353
		5.000	8.690	0,500	1.086,25	2.448,265	556,715
		3.000	5.260	0,500	657,5	1.473,796	376,110
		2.000	3.540	0,500	442,5	986,280	268,050
		1.000	1.790	0,500	223,75	494,443	146,761
		9.000	3.100	0,500	387,5	832,129	236,424
		6.000	2.100	0,500	262,5	559,675	163,365
		5.000	1.700	0,500	212,5	451,582	135,529
		4.000	1.400	0,500	175	370,641	111,663
2.000	700	0,500	87,5	186,580	54,671		
1.000	350	0,500	43,75	92,988	25,683		
500	175	0,500	21,875	46,174	12,877		
250	96	0,500	12	25,151	7,148		

**Tabla 20.** Energía cinética cedida por buques ferries para atraque por proa o por popa mediante traslación longitudinal en obras de atraque fijas, a partir de buque parado.

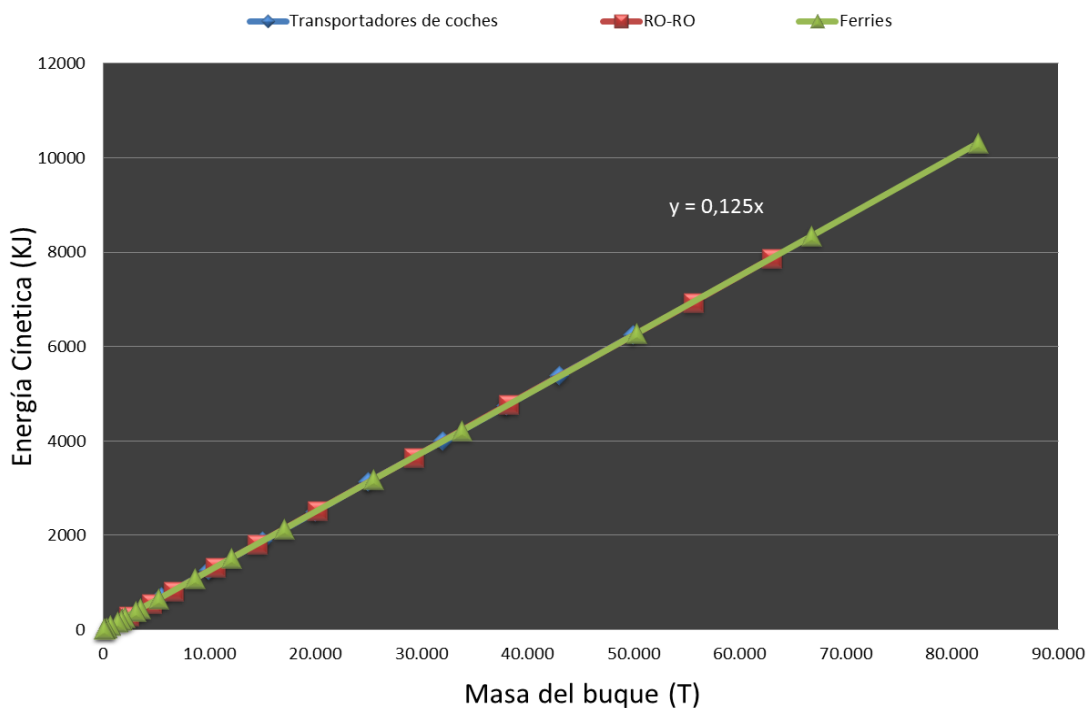


## Atrache Lateral



**Gráfico 11.** Energía cinética cedida en función de la masa del buque; Atraque por proa o popa mediante traslación longitudinal en obras de atraque fijas, a partir de buque parado (FASE 1: Aproximación Transversal).

## Atrache Frontal



**Gráfico 12.** Energía cinética cedida en función de la masa del buque; Atraque por proa o popa mediante traslación longitudinal en obras de atraque fijas, a partir de buque parado (FASE 2: Aproximación longitudinal).

En este caso observamos una capacidad de carga similar para los distintos navíos; encontrando cantidades mayores (en torno a un 79 % superiores) de energía cinética para el caso de Traslación Longitudinal como consecuencia de una velocidad de aproximación superior.

Por otro lado la energía cinética cedida durante el Atrache Lateral, resulta un 54.8 % inferior que en el caso de Atrache Frontal. Esto se debe a una mayor velocidad de aproximación para el caso del Atrache Frontal y a que en este tipo de atrache no se considera el factor de corrección del impacto.

Esta maniobra, de la misma forma que la anterior, se ha considerado sin la utilización de medios auxiliares, lo que conlleva a una velocidad de aproximación mayor y por tanto mayores cantidades de energía cinética cedida a las estructuras de atrache. Dicho efecto se contrarresta al suponer que este tipo de maniobra de atrache no se realizará en condiciones climáticas clasificadas como desfavorables.

## 7. SELECCIÓN DE LAS DEFENSAS

Las defensas son el punto de contacto entre el barco y el puerto. Son ante todo una barrera de seguridad para proteger a las personas, los barcos y las estructuras. La mayoría de los sistemas de defensas utilizan unidades de caucho (elastómeros), espuma especial o de aire que actúan como resorte para absorber la energía cinética del barco. Mientras se comprime el resorte, las fuerzas son transmitidas a otras áreas del sistema de defensa – paneles, anclajes y cadenas- y luego a través del canal de carga seleccionado hacia las estructuras de soporte. Según Galor, Wieslaw (2012), el proceso de transmisión de energía es el siguiente:



Gráfico 13. Diagrama del proceso de transmisión de energía cinética.

### 7.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Antes de seleccionar las defensas se deben revisar todos los requerimientos del proyecto y cualquier otra información disponible; incluyendo códigos y manuales de referencia de diseño.



Imagen 18. Sistema de Defensa.

Entre los factores más importantes a considerar de la maniobra de atraque se resaltan:

- Ambiente local de la marina.
- Exposición del puerto.
- Clase y configuración del buque.
- Velocidad y dirección del buque en el momento de atraque.
- Ayuda disponible en el muelle.
- Tipo de estructura de atraque.

Otros factores importantes en la selección de las defensas y que atienden a las propiedades de las mismas incluidos en los manuales de diseño de Prosertek (s.f) son:

- **Absorción de Energía:** Las defensas deben tener capacidad suficiente para absorber la energía de impacto.

- **Fuerza de reacción:** Es la fuerza ejercida en el buque y en el muelle en el momento del atraque.
- **Presión en el casco:** Es la presión ejercida en el casco del buque por unidad de defensa. El valor medio de la presión es definida como la fuerza de reacción dividida por el área de contacto o la huella de la defensa en compresión. La presión máxima permitida para un buque depende del diseño estructural de este y de la posición del punto de carga.
- **Costo inicial y de mantenimiento:** Deben ser considerados los precios iniciales y de mantenimiento tanto del sistema de defensas como de la estructura del muelle.
- **Espaciamiento:** Es de gran importancia que las defensas estén suficientemente cerca para evitar que la proa del barco penetre en la zona entre defensas, para ángulos de aproximación de hasta 15°.
- **Nivel de la marea:** Se debe colocar un sistema de defensa en un nivel mínimo cuando el nivel de la marea varía entre 1,5 a 2 metros.

Existen una gran variedad de modelos de defensas y se ha de ser exhaustivo en su selección, ya que solo así se conseguirá incrementar su rendimiento, mejorar las operaciones y reducir su mantenimiento. Los principales tipos de defensas son:



DEFENSAS CILÍNDRICAS



DEFENSAS DE ESCUDO



DEFENSAS DE ESQUINA



DEFENSAS NEUMÁTICAS



DEFENSAS EN V



DEFENSAS SEPARADORAS

De lo anterior, se deduce que seleccionar el tipo de defensa a emplear, es una ardua tarea, por lo que se considera poco práctico el estandarizar los criterios de diseño del sistema de defensa, puesto que las condiciones en cada puerto no son idénticas.

- En **localizaciones expuestas** es recomendable un sistema resistente, tal como son los sistemas de defensas de goma.
- En **muelles abrigados** se utilizan generalmente sistemas de pilares de madera o madera colgante.



La selección de una defensa depende si su principal función es absorber la energía cinética de impacto al momento de atraque, o mantener amarrado con seguridad un buque, durante las operaciones de carga y descarga.

- **Para las localizaciones donde las operaciones de atraque sean peligrosas**, es recomendable el uso de sistemas de defensas rígidas con alta capacidad de absorción de energía, tales como los sistemas de defensas de goma en compresión axial. Este es el caso cuando el atraque ocurre bajo la acción de vientos, de corrientes y olas, sin la ayuda de remolcadores.
- **Para puertos donde el comportamiento del buque amarrado es el principal factor**, ha de darse preferencia a las defensas que disipan energía (flexibles) y no justamente a las que almacenan (rígidas) mientras están siendo empujadas y después devuelven al buque la energía almacenada. Las defensas flexibles se utilizan combinadas con cabos de amarre, obteniendo así una reducción en las fuerzas de amarre y minimización de los movimientos del buque.

Un tipo de defensas flexibles, como por ejemplo las defensas de goma en compresión radial, tiende a aumentar el período natural de oscilación del sistema de amarre, por eso la resonancia asociada a las olas de largo período o “seiches” puede ser evitada. Esto es aplicable en puertos en los cuales el atraque es auxiliado por remolcadores; pero la oscilación del agua en la zona protegida del puerto debido a la acción de los “seiches” es un factor importante en la selección de la defensa.

Esta idea es compartida por Vasco Costa, que señala que las defensas recomendadas para disipar energía, son las que después de haber sido comprimidas son capaces de recobrar lentamente su forma original. Como los intervalos entre los impactos sucesivos de los grandes buques son más bien largos, algunas veces más de dos minutos, existe tiempo suficiente para que aún las defensas con lenta recuperación vuelvan a su forma original y estén dispuestas para nuevos impactos.

- **Donde las operaciones de atraque y el comportamiento del buque amarrado tienen la misma importancia**, es recomendable elegir una defensa de tipo intermedio, que actúe de forma rígida durante el proceso de atraque y suavemente cuando el buque se encuentre amarrado. Los sistemas de defensa hidroneumáticos poseen características que satisfacen tales requisitos.

En adición, existen criterios de diseño de las defensas que pueden ser especificados o asumidos de acuerdo con reglas de buena práctica y condiciones locales utilizando la experiencia del diseñador.

En este estudio, por sus características y por su comportamiento o respuesta frente a la energía cinética, se realizará el dimensionamiento de las defensas centrando la atención en las defensas cilíndricas y de escudo.

## 7.2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS DEFENSAS

Después de calcular la energía cinética descrita anteriormente, según indica Theodore T.Lee. (s.f.), ésta se multiplica por un factor para impactos anormales. Dicho factor para impacto anormal debe permitir impactos inusuales razonables para ser absorbidos por el sistema de defensas sin producir daños. Este factor es llamado factor de ataques anormales y es básicamente un factor aplicado a la energía cinética.

En el cálculo de la presente memoria no se ha considerado dicho factor, ya que se seleccionan los valores más desfavorables permitidos de los principales parámetros (condiciones climáticas, la situación de carga, ángulo de aproximación...). Por este motivo se estima que no es precisa la inclusión de este factor en el cómputo de la energía cinética transmitida, al existir un amplio margen de operatividad y funcionamiento del sistema de defensas elegido, que garantiza la integridad del conjunto implicado; logrando un mínimo traspaso de fuerza reactiva hacia la estructura y una presión sobre el casco de las naves acorde a las recomendaciones técnicas sobre la materia.

### 7.2.1 DEFENSAS DE ESCUDO

Estas defensas cuentan con un cuerpo con forma cilíndrica, tienen más de 30 años de empleo con sólo algunos cambios menores durante este periodo. Las defensas de escudo son muy resistentes y han sido utilizadas por décadas en muchos puertos alrededor del mundo.

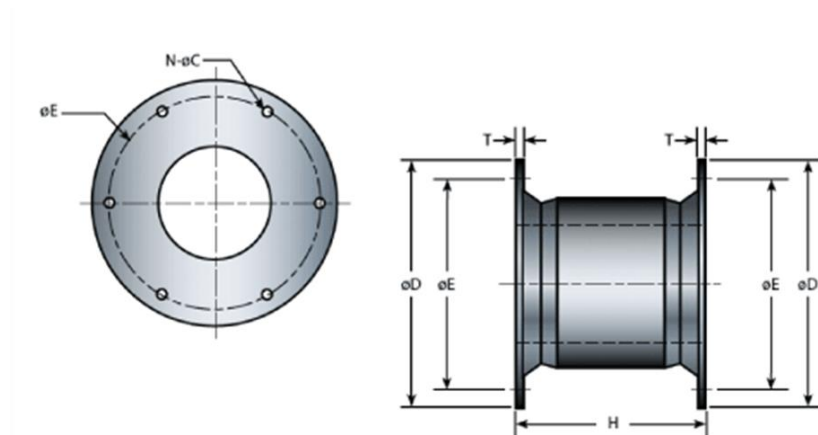


Imagen 19. Vista de sección de una defensa de escudo.

Las características de las defensas de escudo reconocidas y utilizadas incluyen:

- Buena relación entre la absorción de energía y fuerza de reacción (E/R)
- Bridas de fijación integradas que permiten un armado e instalación fácil.
- Buena resistencia a las fuerzas de cizallamiento debido a un mayor diámetro de las bridas de la defensa.
- Una mejor distribución de la fuerza permitirá la construcción de paneles más livianos.

En este estudio se ha optado por las defensas de escudo, para los atraques de los buques Petroleros y Gaseros mediante traslación transversal en las obras de atraque fijas discontinuas. Se ha escogido esta solución debido a que las defensas tipo escudo presentan una elevada capacidad de absorción de energía y por tanto un buen comportamiento en atraques de determinado riesgo, como es el caso, debido a las grandes dimensiones de los buques tratados.

Una vez obtenida la energía cinética desarrollada por los buques en el atraque, dimensionamos el sistema de defensas asumiendo una deformación máxima de la misma, garantizando así la correcta ejecución de su labor al transmitir la energía.

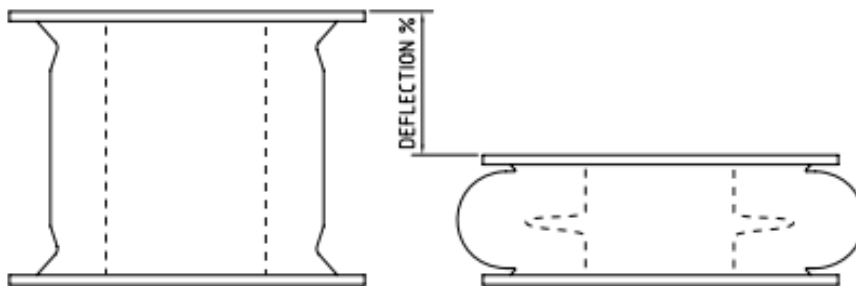


Imagen 20. Deformación defensa de escudo.

Para el dimensionamiento se ha utilizado el catalogo proporcionado **“Maritime International”** una empresa líder en el sector del diseño y fabricación de defensas. En dicho manual las defensas aparecen clasificadas en función del diámetro externo de la estructura cilíndrica y del grado de dureza del caucho que configuran las mismas.

Para comenzar se ha de estudiar el comportamiento del tipo de defensas escogido y tras su análisis seleccionar la deformación máxima que queremos asumir.



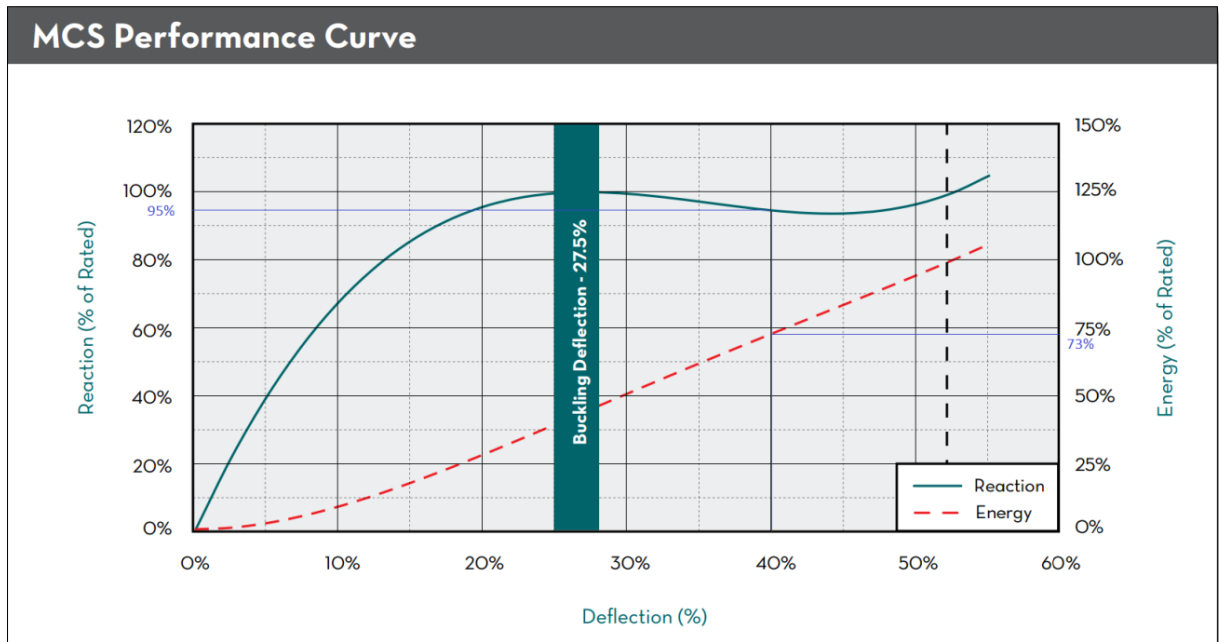


Gráfico 14. Curva de comportamiento defensa de escudo.

Tras analizar la gráfica de comportamiento de las defensas de escudo, asumimos como criterio de diseño que nuestro sistema de defensas ha de asegurar su correcto funcionamiento presentando un 40 % de deformación, que equivale a una reducción del 95 % de los valores de Reacción proporcionados en el catálogo y un 73 % en el caso de la energía cinética máxima capaz de absorber.

Deflection % of Height	Reaction % of Design Reaction	Energy % of Design Energy
5%	40%	2%
10%	68%	9%
15%	86%	17%
20%	96%	28%
25%	99%	39%
30%	99%	51%
35%	97%	62%
40%	95%	73%
45%	94%	84%
50%	97%	94%
52,50%	100%	100%
55%	106%	106%

Tabla 21. Curva de comportamiento defensa de escudo.

Una vez fijados los criterios de dimensionamiento y atendiendo especialmente a la cantidad de energía cinética capaz de absorber, se han obtenido los siguientes sistemas de defensas a disponer:

TIPO DE BUQUE	CLASE	TMIP	Mb-Δpc (t)	CON REMOLCADORES			
				DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (KJ)	ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)
PETROLEROS Y TRANSPORTADORES DE PRODUCTOS PRETROLIFEROS Y QUÍMICOS ( Tankers ).	SUPERTANKERS	500.000	650.000	1 x Ø 2500 G 3.2	3739,940	3.732,490	4.425,100
		450.000	585.000	1 x Ø 2500 G 2.6	3412,925	3.446,340	4.085,950
	ULCC	350.000	462.000	1 x Ø 2250 G3.1	2668,812	2.682,750	3.539,700
		300.000	399.000	1 x Ø 2250 G 2.1	2308,091	2.334,540	3.075,150
	VLCC	250.000	335.000	1 x Ø 2250 G 1.4	1951,661	1.981,220	2.610,600
		200.000	271.000	1 x Ø 2000 G2.6	1586,753	1.589,940	2.355,050
	SUEZMAX	175.000	238.700	1 x Ø 2000 G1.9	1402,016	1.422,040	2.107,100
		150.000	206.000	1 x Ø 2000 G1.3	1216,910	1.220,560	1.807,850
	AFRAMAX	125.000	171.600	1 x Ø 2000 G1.1	1126,923	1.153,40	1.708,100
		100.000	140.000	1 x Ø 2000 G 0.2	931,688	940,240	1.394,600
	PANAMAX	80.000	113.000	1 x Ø 1600 G2.2	758,731	767,230	1.423,100
		70.000	99.200	1 x Ø 1600 G1.7	668,448	693,50	1.284,400
	PRODUCT CARRIER	50.000	72.000	1 x Ø 1450 G1.5	488,691	491,290	1.003,200
		30.000	44.200	1 x Ø 1250 G1.5	306,912	313,90	744,800
		20.000	30.000	1 x Ø 1000 G3.1	211,256	212,430	629,850
		15.000	22.800	1 x Ø 1000 G2	180,392	181,770	538,650
		10.000	15.500	1 x Ø 1000 G2.6	195,749	198,560	589
		5.000	7.970	1 x Ø 1000 G1.2	145,342	148,190	438,900
	1.000	1.710	1 x Ø 800 G0.3	58,017	59,130	218,500	

**Tabla 22.** Dimensionamiento de defensa de escudo a partir de la energía cinética cedida por buques Petroleros con ayuda de remolcadores en el atraque.

TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Mb-Δpc (t)	SIN REMOLCADORES				
				DEFENSA PROPUESTA	ENERGIA ATRAQUE (KJ)	ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)	
PETROLEROS Y TRANSPORTADORES DE PRODUCTOS PETROLIFEROS Y QUÍMICOS ( Tankers ).	SUPERTANKERS	500.000	650.000	5x Ø 3000 G3.2	28.966,981	29.013,850	28.704,250	
		450.000	585.000	5 x Ø 3000 G2.6	26.424,376	26.787,350	26.495,500	
	ULCC	350.000	462.000	4 x Ø 3000G2.4	20.667,926	20.828,360	20.596	
		300.000	399.000	3 x Ø 3000 G3.5	17.872,555	18.065,310	17.852,400	
	VLCC	250.000	335.000	3 x Ø 3000 G2.2	15.110,085	15.172,320	14.993,850	
		200.000	271.000	2 x Ø 3000 G3.7	12.282,867	12.334,080	12.182,800	
	SUEZMAX	175.000	238.700	2 x Ø 3000 G2.7	10.852,072	10.863,860	10.748,300	
		150.000	206.000	2 x Ø 3000 G1.9	9.417,533	9.586,360	9.471,500	
	AFRAMAX	125.000	171.600	2 x Ø 3000 G1.6	8.720,836	8.901,620	8.798,900	
		100.000	140.000	2 x Ø 3000 G0.8	7.207,425	7.229,920	7.157,300	
	PANAMAX	80.000	113.000	1 x Ø 3000 G3.2	5.867,511	5.875,770	5.740,850	
		70.000	99.200	1 x Ø 3000 G2.4	5.168,953	5.207,090	5.149	
	PRODUCT CARRIER	50.000	72.000	1 x Ø 3000 G1.3	4.086,277	4.107,710	4.064,100	
		30.000	44.200	1 x Ø 2500 G1.7	2.869,021	2.936,790	3.480,800	
	PRODUCT CARRIER	20.000	30.000	1 x Ø 2500 G0.4	2.195,170	2.208,980	2.618,200	
		15.000	22.800	1 x Ø 2250 G1.1	1.799,891	1.822,810	2.400,650	
		10.000	15.500	1 x Ø 2000 G1.9	1.418,964	1.422,040	2.107,100	
		5.000	7.970	1 x Ø 1700 G2.1	896,365	907,390	1.581,750	
			1.000	1.710	1 x Ø 1250 G0.3	232,070	235,060	557,650

**Tabla 23.** Dimensionamiento de defensa de escudo a partir de la energía cinética cedida por buques Petroleros sin ayuda de remolcadores en el atraque.

TIPO DE BUQUE	CLASE (CAPACIDAD)	GT	Mb-Δpc (t)	CON REMOLCADORES				
				DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (KJ)	ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)	
GASEROS ( Gas Carriers ).	Q-MAX LNGC (266.000 m <sup>^3</sup> )	160.000	176.000	1 x Ø 1700 G2.9	1.007,263	1.017,620	1.773,650	
	Q-FLEX LNGC (220.000 m <sup>^3</sup> )	130.000	143.000	1 x Ø 1700 G1.7	828,317	831,470	1.450,650	
	VLGC	Esférico (140.000 m <sup>^3</sup> )	100.000	110.600	1 x Ø 1700 G1.2	722,531	728,540	1.271,100
		Membrana ( 140.000 m <sup>^3</sup> )	95.000	105.000	1 x Ø 1700 G1	683,794	686,930	1.198,900
	LPGC	( 100.000 m <sup>^3</sup> )	50.000	87.000	1 x Ø 1700 G0.2	577,001	577,430	1.007
		( 70.000 m <sup>^3</sup> )	30.000	55.100	1 x Ø 1450 G0.4	373,400	375,950	767,600
		( 30.000 m <sup>^3</sup> )	20.000	38.500	1 x Ø 1250 G0.9	265,450	267,910	634,600
		( 20.000 m <sup>^3</sup> )	15.000	29.900	1 x Ø 1000 G3	208,603	209,510	622,250
	GASEROS ( Gas Carriers ).	( 10.000 m <sup>^3</sup> )	10.000	20.900	1 x Ø 1000 G1.7	164,848	169,360	501,600
		( 7.500 m <sup>^3</sup> )	5.000	11.300	1 x Ø 1000 G1.7	166,585	169,360	501,600
		( 1.500 m <sup>^3</sup> )	1.000	2.740	1 x Ø 800 G2	89,758	91,250	337,250

**Tabla 24.** Dimensionamiento de defensa de escudo a partir de la energía cinética cedida por buques Gaseros con ayuda de remolcadores en el atraque.

TIPO DE BUQUE	CLASE (CAPACIDAD)	GT	Mb-Apc (t)	SIN REMOLCADORES				
				DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (KJ)	ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)	
GASEROS ( Gas Carriers ).	Q-MAX LNGC (266.000 m <sup>^3</sup> )	160.000	176.000	2 x Ø 3000 G1.2	7.802,342	7.986,200	7.904	
	Q-FLEX LNGC (220.000 m <sup>^3</sup> )	130.000	143.000	2 x Ø 3000 G0.3	6.413,784	6.480,940	6.414,400	
	VLGC	Esférico (140.000 m <sup>^3</sup> )	100.000	110.600	1 x Ø 3000 G3	5.592,413	5.656,770	5.600,250
		Membrana ( 140.000 m <sup>^3</sup> )	95.000	105.000	1 x Ø 3000 G2.6	5.292,955	5.357,470	5.299,100
	LPGC	( 100.000 m <sup>^3</sup> )	50.000	87.000	1 x Ø 3000 G1.8	4.571,425	4.679,300	4.623,650
		( 70.000 m <sup>^3</sup> )	30.000	55.100	1 x Ø 3000 G0.4	3.292,932	3.314,930	3.281,300
		( 30.000 m <sup>^3</sup> )	20.000	38.500	1 x Ø 2500 G1.3	2.628,515	2.645,520	3.135,950
		( 20.000 m <sup>^3</sup> )	15.000	29.900	1 x Ø 2500 G0.4	2.168,132	2.208,980	2.618,200
		( 10.000 m <sup>^3</sup> )	10.000	20.900	1 x Ø 2250 G0.4	1.590,584	1.610,380	2.121,350
		( 7.500 m <sup>^3</sup> )	5.000	11.300	1 x Ø 2000 G1.2	1.160,374	1.186,980	1.758,450
( 1.500 m <sup>^3</sup> )	1.000	2.740	1 x Ø 1450 G0.3	360,881	367,190	1.426,900		

**Tabla 25.** Dimensionamiento de defensa de escudo a partir de la energía cinética cedida por buques Gaseros sin ayuda de remolcadores en el atraque.

Observando las tablas anteriores, destacan las elevadas dimensiones de las defensas; especialmente, en el caso de que tanto Petroleros como Gaseros atraquen sin ayuda de remolcadores. En este caso para asegurar la función del sistema de defensas y que se transmita la energía cinética al resto de elementos implicados de una forma segura, se ha escogido una defensa de contacto múltiple constituida por la agrupación de diversas defensas individuales. El motivo por el que se obtienen valores muy elevados de energía cinética desarrollada por los buques, es que se han considerado condiciones climáticas desfavorables en la mayoría de los casos, no correspondiéndose con la situación real; ya que en estas ocasiones los buques no atracan, al suponer un riesgo bastante elevado para el personal, las embarcaciones y las estructuras de atraque.

El equilibrio de fuerzas resultante en los sistemas de defensas es el siguiente:

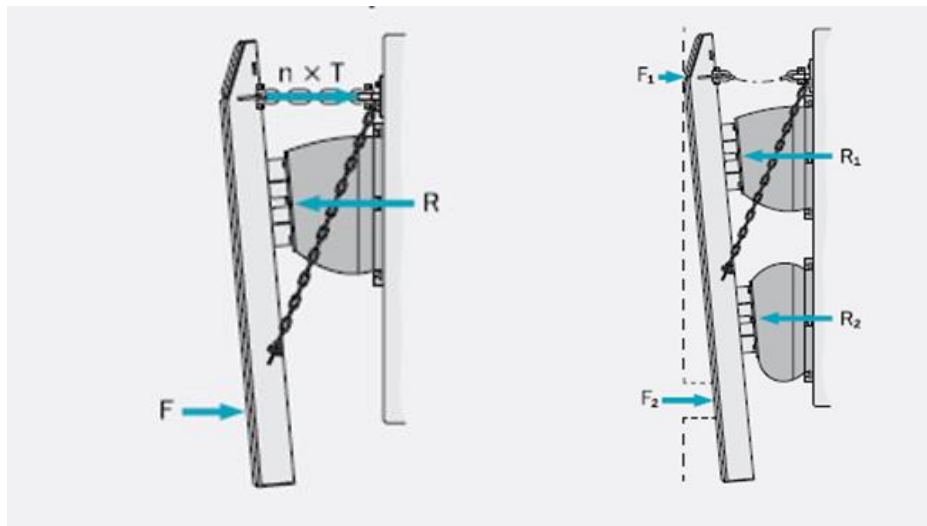
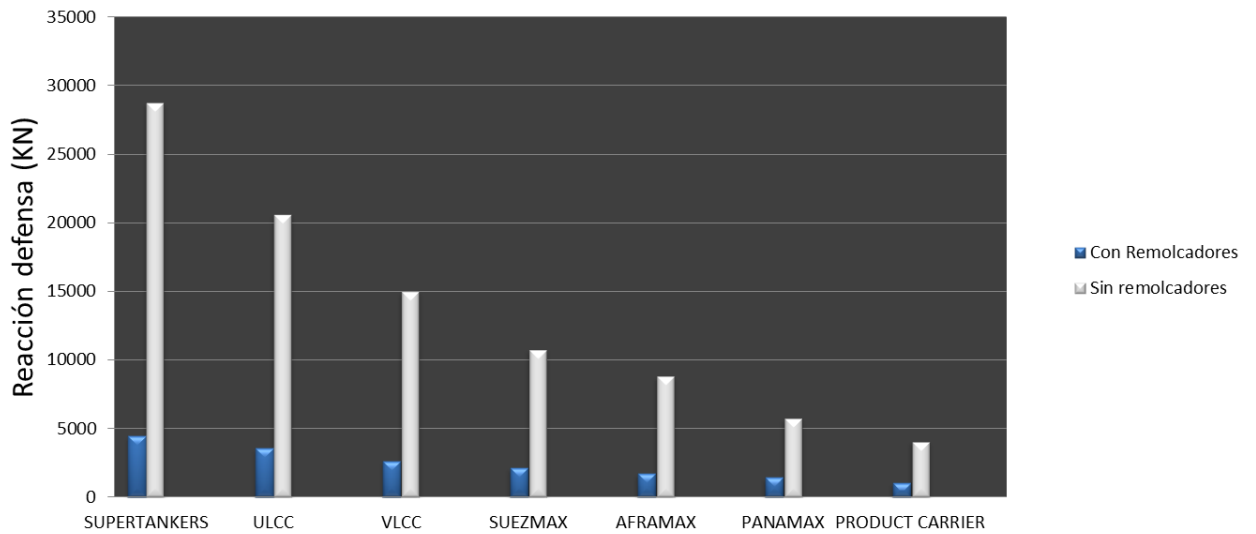


Imagen 21. Equilibrio de fuerzas en el cuerpo de la defensa de escudo.

En adición, también indicar que pese a la prioridad de obtener unos cálculos precisos y fiables, no se ha podido considerar la influencia sobre la energía cinética del empleo de elementos auxiliares de atraque, de carácter novedoso, como son las hélices Laterales; que facilitan la ejecución y precisión de las maniobras.

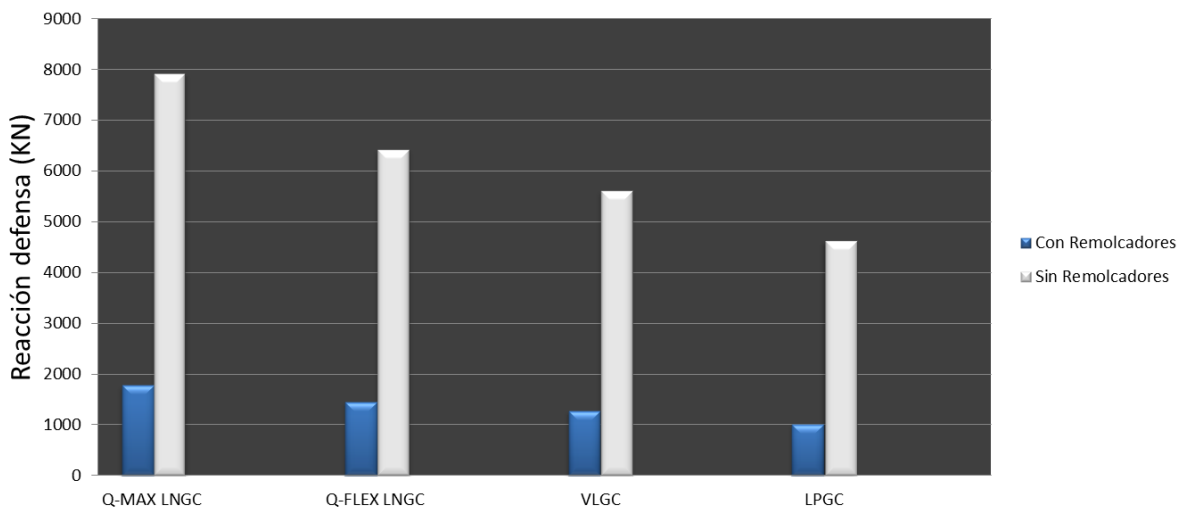
## PETROLEROS



**Gráfico 15.** Reacción defensas de escudo para buques Petroleros con y sin ayuda de remolcadores.

Las gráficas obtenidas para la reacción del sistema de defensas presenta muy pocas diferencias respecto a la de la energía cinética desarrollada por los buques, condición básica para satisfacer el equilibrio de fuerzas necesario para asegurar la integridad de todo el conjunto.

## GASEROS



**Gráfico 16.** Reacción defensas de escudo para buques Gaseros con y sin ayuda de remolcadores.

DEFENSAS PARA PETROLEROS	Reacción Defensa (KN)		DIFERENCIA %
	Con remolcadores	Sin Remolcadores	
SUPERTANKERS	4.425,100	28.704,250	84,583
ULCC	3.539,700	20.596	82,813
VLCC	2.610,600	14.993,850	82,588
SUEZMAX	2.107,100	10.748,300	80,395
AFRAMAX	1.708,100	8.798,900	80,587
PANAMAX	1.423,100	5.740,850	75,210
PRODUCT CARRIER	1.003,200	4.064,100	75,315
			<b>80,213</b>

**Tabla 26.** Reacción defensas de escudo para buques Petroleros con y sin ayuda de remolcadores.

La variación entre las reacciones correspondientes a los sistemas de defensas empleados para atraques con y sin ayuda de remolcadores, varían en un 80,21% para el caso de defensas para buques Petroleros y un 77,61 % para el caso de los Gaseros.

GASEROS	Reacción Defensa (KN)		DIFERENCIA %
	Con remolcadores	Sin Remolcadores	
Q-MAX LNGC	1.773,650	7.904	77,560
Q-FLEX LNGC	1.450,650	6.414,400	77,384
VLGC	1.271,100	5.600,250	77,302
LPGC	1007	4.623,650	78,220
			<b>77,617</b>

**Tabla 27.** Reacción defensas de escudo para buques Gaseros con y sin ayuda de remolcadores.

Revisando los datos obtenidos, se concluye que la influencia del uso de remolcadores durante el atraque se traduce en una diferencia en las reacciones de los sistemas de defensas de escudo del 78,91% .



Tal como propone G.Versteegt (2013) y con el fin de analizar la eficiencia de la defensa, se presenta el siguiente gráfico que representa la fuerza en la estructura de la defensa por unidad de energía absorbida.



Gráfico 17. Ratio E/R correspondiente a defensas de escudo.

Del gráfico anterior se esclarece que el ratio entre la energía cinética y la reacción de la defensa, toma valor de 0,883 para el caso de las defensas tipo celda. Este valor se interpreta como 0,883 KN de Reacción en la estructura por cada KN de energía cinética.

Este análisis de la eficiencia solo considera energía y reacción. Un estudio más detallado tomaría en consideración los ángulos de compresión, temperatura y velocidad de impacto, entre otros factores.

A continuación se muestran unas imágenes del tipo de defensas de escudo seleccionadas:







Imágenes 22, 23, 24, 25, 26. Defensas de escudo.

## 7.2.2 DEFENSAS CILÍNDRICAS

Las defensas cilíndricas fueron el primer tipo en ser producidas con un desempeño definido. Se logra una instalación adecuada con la utilización de cadenas, barras, sogas o abrazaderas. El incremento proporcional de la fuerza de reacción y la absorción de energía en la desviación valuada es una ventaja dando como resultado una trayectoria de atraque más suave.

Otras ventajas son:

- Un tipo de defensa muy sencillo y resistente.
- Fácil de instalar, permitiendo múltiples usos en diferentes muelles.
- Con un diámetro exterior de hasta 2.700 mm y un diámetro interior que va desde sólo 50mm hasta 1.300 mm.
- Un largo variable de hasta 20 m.

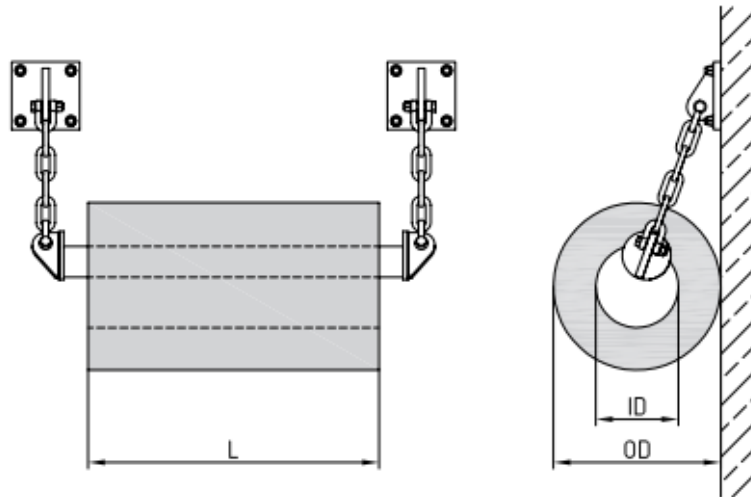


Imagen 27. Defensa cilíndrica.

En este estudio se ha optado por las defensas cilíndricas, para los casos de atraque restantes estudiados en el apartado 6. Son defensas de goma de compresión radial y son capaces de disipar grandes cantidades de energía.

Una vez obtenida la energía cinética desarrollada por los buques en el atraque, dimensionamos el sistema de defensas asumiendo un 40% como deformación máxima de nuestro sistema de defensas, el mismo valor que empleamos anteriormente para las defensas de escudo.

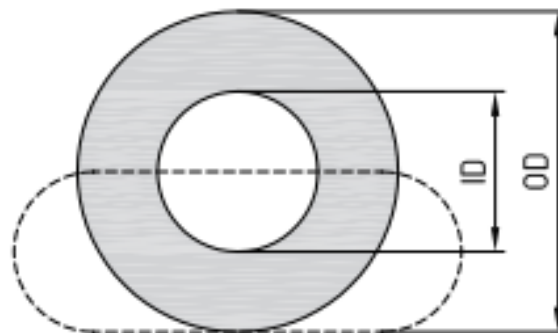


Imagen 28. Deformación defensa cilíndrica.

Para el dimensionamiento se ha utilizado el catalogo proporcionado por **“Maritime International”**. En dicho manual las defensas aparecen clasificadas en función del diámetro externo de la estructura cilíndrica y del grado de dureza del caucho que configuran las mismas.

Observando la Tabla de comportamiento de las defensas cilíndricas, y considerando que asumimos como criterio de diseño un 40 % de deformación máxima, obtenemos una reducción del 72 % de los valores de Reacción proporcionados en el catálogo y un 60 % en el caso de la energía cinética máxima capaz de absorber.

Deflection % of Height	Reaction % of Design Reaction	Energy % of Design Energy
5%	8%	1%
10%	16%	5%
15%	23%	9%
20%	31%	14%
25%	40%	23%
30%	49%	34%
35%	60%	46%
40%	72%	60%
45%	85%	79%
50%	100%	100%

Tabla 28. Curva de comportamiento defensa cilíndrica.

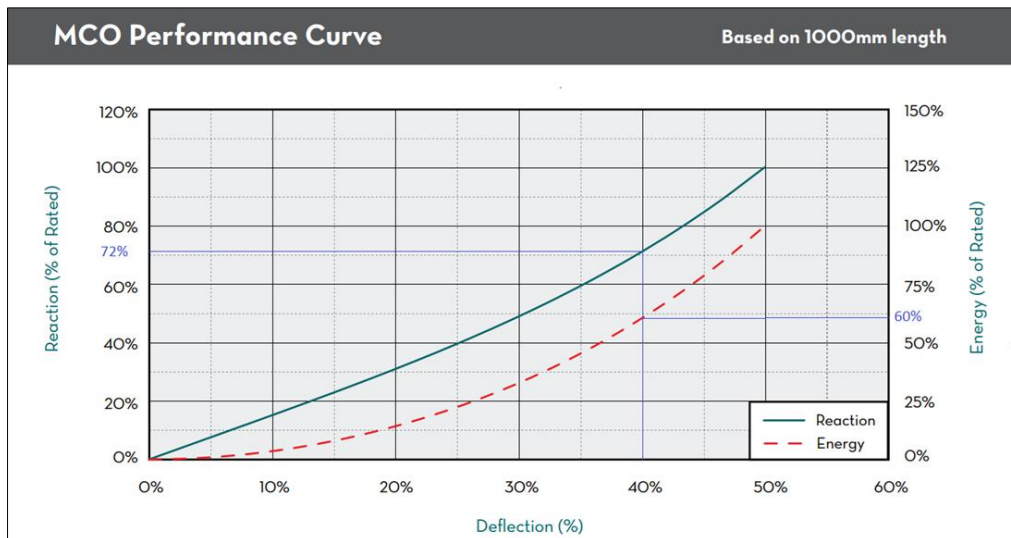


Gráfico 18. Curva de comportamiento defensa cilíndrica.

Una vez fijados los criterios de dimensionamiento y atendiendo especialmente a la cantidad de energía cinética disipada, se han obtenido los siguientes sistemas de defensas a disponer.

TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Mb-Δpc (t)	CON REMOLCADORES			
				DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (KJ)	ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)
GRANELEROS ( Bulk carriers ).	VLBC	400.000	460.000	5m x Ø 2000 G4	1.547,671	1.752	3.794,400
		350.000	406.000	4m x Ø 2000 G4	1.360,67	1.401,600	3.035,520
		300.000	350.000	5m x Ø 1800 G4	1.168,493	1.218	3.139,200
		250.000	287.000	4m x Ø 1800 G4	956,847	974,400	2.511,360
		200.000	232.000	3m x Ø 1900 G4	772,716	876,600	1.987,200
	CAPE SIZE	150.000	177.000	2m x Ø 2000 G4	654,107	700,800	1.517,760
		100.000	121.000	2m x Ø 1800 G4	446,376	487,200	1.255,680
		70.000	86.000	1m x Ø 2000 G4	311,009	350,400	758,880
	HANDYMAX	50.000	62.600	1m x Ø 1900 G4	257,155	292,200	662,400
		30.000	38.600	1m x Ø 1600 G4	158,517	169,200	558,720
	HANDYSIZE	20.000	26.300	1m x Ø 1400 G4	112,725	124,800	482,400
		15.000	20.000	1m x Ø 1600 G2	101,139	105,600	346,320
		10.000	13.700	1m x Ø 1400 G4	116,390	124,800	482,400
	MINI BULK CARRIERS	7.000	9.740	1m x Ø 1600 G2	95,181	105,600	346,320
		5.000	7.090	1m x Ø 1600 G2	89,932	105,600	346,320
TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Mb-Δpc (t)	CON REMOLCADORES			
MERCANTES DE CARGA GENERAL ( General Cargo Ships ).	HANDYMAX	40.000	57.000	3m x Ø 1100 G4	228,852	232,200	1.140,480
		30.000	44.000	3m x Ø 1000 G4	176,983	185,400	1.034,640
		20.000	30.100	2m x Ø 1300 G2	121,359	129,600	564,480
		15.000	22.900	1m x Ø 1600 G2	103,009	105,600	346,320
		10.000	15.700	1m x Ø 1700 G2	112,997	123,600	367,920
	SEAWAYMAX	7.000	11.200	1m x Ø 1600 G2	94,606	105,600	346,320
		5.040	8.150	1m x Ø 1600 G2	91,286	105,600	346,320
		3.000	5.040	1m x Ø 1500 G2	80,575	88,200	324,720
		1.000	1.790	1m x Ø 1000 G2	34,515	38,400	213,840

**Tabla 29.** Dimensionamiento de defensa cilíndrica a partir de la energía cinética cedida por los buques con ayuda de remolcadores en el atraque.

TIPO DE BUQUE	CLASE	TEUs	Mb-Δpc (t)	CON REMOLCADORES			
				DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (KJ)	ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)
PORTACONTENEDORES (Containers Ships).	MALACCAMAX	>18.000	375.000	4m x Ø 1900 G4	1.136,997	1.168,800	2.649,600
	ULCV	15.000	264.000	3m x Ø 1900 G4	814,725	876,600	1.987,200
	SUEZMAX Y NEW-PANAMAX	12.000	204.000	4m x Ø 1600 G4	627,197	676,800	2.234,880
		10.000	175.000	2m x Ø 1900 G4	528,054	584,400	1.324,800
	SUPER-POST PANAMAX	9.000	172.000	2m x Ø 1900 G4	522,730	584,400	1.324,800
		8.000	160.000	2m x Ø 1800 G4	484,756	487,200	1.255,680
	POST-PANAMAX	6.000	131.000	2m x Ø 1700 G4	400,653	405,600	1.186,560
		5.000	91.000	2m x Ø 1600 G4	310,546	338,400	1.117,440
	PANAMAX	4.000	85.000	2m x Ø 1500 G4	281,364	285,600	1.033,920
		3.000	80.500	2m x Ø 1500 G4	267,122	285,600	1.033,920
		2.000	65.000	2m x Ø 1400 G4	246,471	249,600	482,400
	FEEDER	1.000	33.500	1m x Ø 1500 G4	130,338	142,800	516,960
		500	17.400	1m x Ø 1600 G2	103,062	105,600	346,320
		300	12.300	1m x Ø 1600 G2	94,098	105,600	346,320

**Tabla 30.** Dimensionamiento defensa de cilíndrica a partir de la energía cinética cedida por los buques con ayuda de remolcadores en el atraque.

TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Mb-Δpc (t)	SIN REMOLCADORES			
				DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (KJ)	ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)
GRANELEROS ( Bulk carriers ).	HANDYSIZE	20.000	26.300	5m x Ø 1800 G4	1.203,41	1.218	3.139,200
		15.000	20.000	4m x Ø 1800 G4	945,110	974,400	2.511,360
	10.000	13.700	4m x Ø 1700 G4	778,680	811,200	2.373,120	
	7.000	9.740	4m x Ø 1600 G4	624,700	676,800	2.234,880	
	5.000	7.090	2m x Ø 1800 G4	485,910	487,200	1.255,680	
TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Mb-Δpc (t)	SIN REMOLCADORES			
				DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (KJ)	ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)
MERCANTES DE CARGA GENERAL ( General Cargo Ships ).	HANDYMAX	40.000	57.000	6m x Ø 2000 G4	2.093,111	2.102,400	4.553,280
		30.000	44.000	5m x Ø 2000 G4	1.717,203	1.752	3.794,400
		20.000	30.100	4m x Ø 2000 G4	1.309,494	1.401,600	3.035,520
		15.000	22.900	4m x Ø 1900 G4	1.067,572	1.168,800	2.649,600
		10.000	15.700	3m x Ø 1900 G4	872,037	876,600	1.987,200
	SEAWAYMAX	7.000	11.200	3m x Ø 1800 G4	684,489	730,800	1.883,520
		5.040	8.150	2m x Ø 1900 G4	546,485	584,400	1.324,800
		3.000	5.040	2m x Ø 1700 G4	363,476	405,600	1.186,560
		1.000	1.790	2m x Ø 1100 G4	143,496	154,800	760,320
		TIPO DE BUQUE	CLASE	TEUs	Mb-Δpc (t)	SIN REMOLCADORES	
DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (KJ)					ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)
PORTACONTENEDORES (Containers Ships).	FEEDER	1.000	33.500	4m x Ø 2000 G4	1.362,529	1.401,600	3.035,520
		500	17.400	3m x Ø 2000 G4	881,132	1.051,200	2.276,640
		300	12.300	3m x Ø 1900 G4	725,870	876,600	1.987,200

**Tabla 31.** Dimensionamiento de defensa cilíndrica a partir la energía cinética cedida por los buques sin ayuda de remolcadores en el atraque.



TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Mb-Δpc (t)	ATRAQUE FRONTAL			
				DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (KJ)	ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)
TRANSPORTADORES DE COCHES (Pure and Truck Car Carriers-PCC-PTCC).	1.000 Car Units	13.000	10.000	4m x Ø 2000 G4	1250	1401,600	3.035,520
	700 Car Units	7.000	5.500	2m x Ø 2000 G4	687,500	700,800	1.517,760
TIPO DE BUQUE	CLASE	TPM	Mb-Δpc (t)	ATRAQUE FRONTAL			
RO-RO ( Roll-On/Roll-off Ships).	2.500 ml	3.000	6.630	5m x Ø 1600 G4	828,750	846	2.793,600
	2.000 ml	2.000	4.560	4m x Ø 1500 G4	570	571,200	2.067,840
	1.250 ml	1.000	2.400	1m x Ø 2000 G4	300	350,400	758,880
TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Mb-Δpc (t)	ATRAQUE FRONTAL			
FERRIES	FERRIES CONVENCIONALES (Ro-Ro, Ro-Pax and Cruise Ferries ).	5.000	8.690	4m x Ø 1900 G4	1.086,250	1.168,800	5.961,600
		3.000	5.260	4m x Ø 1600 G4	657,500	676,800	2.234,880
		2.000	3.540	3m x Ø 1600 G4	442,500	507,600	1.676,160
		1.000	1.790	2m x Ø 1400 G4	223,750	249,600	964,800
		9.000	3.100	2m x Ø 1700 G4	387,500	405,600	1.186,560
	FERRIES RÁPIDOS MULTICASCO ( Multihull Fast Ferries ).	6.000	2.100	2m x Ø 1500 G4	262,500	285,600	1.033,920
		5.000	1.700	2m x Ø 1300 G4	212,500	214,800	897,120
		4.000	1.400	2m x Ø 1200 G4	175	182,400	826,560
		2.000	700	1m x Ø 1200 G4	87,500	91,200	413,280
		1.000	350	1m x Ø 900 G4	43,750	50,400	309,600
		500	175	1m x Ø 600 G4	21,875	22,200	205,920
		250	96	1m x Ø 500 G4	12	15,600	172,080

Tabla 32. Dimensionamiento de defensa cilíndrica a partir de la energía cinética cedida por los buques durante el Atraque Frontal.

TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Mb-Δpc (t)	ATRAQUE LATERAL					
				AL TL	AL TT	DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (kJ)	ENERGÍA DEFENSA (kJ)	REACCIÓN DEFENSA (kN)
TRANSPORTADORES DE COCHES (Pure and Truck Car Carriers-PCC-PTCC).	700 Car Units	7.000	5.500	1.559,744	378,021	5m x Ø 2000 G4	1.559,744	1.752	3.794,400
	CLASE	TPM	Mb-Δpc (t)	AL TL	AL TT	DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (kJ)	ENERGÍA DEFENSA (kJ)	REACCIÓN DEFENSA (kN)
RO-RO (Roll-On/Roll-off Ships).	2.000 ml	2.000	4.560	1.296,092	322,489	4m x Ø 2000 G4	1.296,092	1.401,600	3.035,520
	1.250 ml	1.000	2.400	677,061	190,361	2m x Ø 2000 G4	677,061	700,800	1.517,760
TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Mb-Δpc (t)	AL TL	AL TT	DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (kJ)	ENERGÍA DEFENSA (kJ)	REACCIÓN DEFENSA (kN)
	ATRAQUE LATERAL								
FERRIES	FERRIES CONVENCIONALES (Ro-Ro, Ro-Pax and Cruise Ferries).	2.000	3.540	986,280	268,050	6m x Ø 1600 G4	986,280	1.015,200	3.352,320
		1.000	1.790	494,443	146,761	3m x Ø 1600 G4	494,443	507,600	1.676,160
	9.000	3.100	832,129	236,422	3m x Ø 1900 G4	832,129	876,600	1.987,200	
	6.000	2.100	559,675	163,365	3m x Ø 1700 G4	559,675	608,400	1.779,840	
	5.000	1.700	451,582	135,529	2m x Ø 1800 G4	451,582	487,200	1.255,680	
	4.000	1.400	370,641	111,663	2m x Ø 1700 G4	370,641	405,600	1.186,560	
	2.000	700	186,580	54,671	1m x Ø 1700 G4	186,580	202,800	593,280	
	1.000	350	92,988	25,683	1m x Ø 1300 G4	92,988	107,400	448,560	
	500	175	46,174	12,877	1m x Ø 900 G4	46,174	50,400	309,600	
	250	96	25,151	7,148	1m x Ø 700 G4	25,151	30	240,480	

Tabla 33. Dimensionamiento de defensa cilíndrica a partir de la energía cinética cedida por los buques durante el Atraque Lateral.

TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Mb-Δpc (t)	ATAQUE FRONTAL			
				DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (KJ)	ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)
CRUCEROS ( Cruise Ships ).	150	6.000	3.600	5m x Ø 2000 G4	1.679,428	1.752	3.794,400
	-	4.000	2.400	4m x Ø 1900 G4	1.119,619	1.168,800	2.649,600
	-	2.000	1.200	2m x Ø 1900 G4	559,809	584,400	1.324,800
TIPO DE BUQUE	CLASE	TRB	Mb-Δpc (t)	ATAQUE FRONTAL			
PESQUEROS ( Fishing Vessels ).	PESQUEROS DE ALTURA Y GRAN ALTURA.	2.000	2.500	4m x Ø 1900 G4	1.166,269	1.168,800	2.649,600
		1.500	2.200	3m x Ø 2000 G4	1.026,317	1.051,200	2.276,640
		1.000	1.750	3m x Ø 1900 G4	816,388	876,600	1.987,200
		500	1.000	2m x Ø 1800 G4	466,507	487,200	1.255,680
		300	600	1m x Ø 1900 G4	279,904	292,200	662,400
		200	400	1m x Ø 1700 G4	186,603	202,800	593,280
	PESQUEROS DE BAJURA	150	300	1m x Ø 1500 G4	139,952	142,800	516,960
		100	200	1m x Ø 1300 G4	93,301	107,400	448,560
		75	165	1m x Ø 1100 G4	76,973	77,400	380,160
		50	115	1m x Ø 1000 G4	53,648	61,800	344,880
		25	60	1m x Ø 700 G4	27,990	30	240,480
		15	40	1m x Ø 600 G4	18,660	22,200	205,920
		120 m	4.500	6m x Ø 2000 G4	2.099,285	2.102,400	4.553,280
MEGAYATES ( según L )	100 m	3.500	6m x Ø 1900 G4	1.632,777	1.753,200	3.974,400	
	70 m	1.600	4m x Ø 1700 G4	746,412	811,200	2.373,120	
	60 m	1.100	2m x Ø 1900 G4	513,158	584,400	1324,800	
	50 m	700	1m x Ø 2000 G4	326,555	350,400	758,880	

Tabla 34. Dimensionamiento de defensa cilíndrica a partir de la energía cinética cedida por los buques durante el Atraque Frontal.

TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Mb-Δpc (t)	ATRAQUE LATERAL			
				DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (KJ)	ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)
CRUCEROS ( Cruise Ships ).	175	10.000	6.000	5m x Ø 2000 G4	1.699,251	1.752	3.794,400
	150	6.000	3.600	3m x Ø 2000 G4	1.011,404	1.051,200	2.276,640
	-	4.000	2.400	2m x Ø 2000 G4	672,502	700,8	1.517,760
	-	2.000	1.200	1m x Ø 2000 G4	334,502	350,4	758,880
TIPO DE BUQUE	CLASE	TRB	Mb-Δpc (t)	ATRAQUE LATERAL			
PESQUEROS ( Fishing Vessels).	PESQUEROS DE ALTURA Y GRAN ALTURA.	5.000	6.000	5m x Ø 2000 G4	1.707,193	1.752	3.794,400
		2.500	3.250	3m x Ø 2000 G4	919,337	1.051,200	2.276,640
		2.000	2.500	3m x Ø 1900 G4	709,306	876,600	1.987,200
		1.500	2.200	2m x Ø 2000 G4	625,970	700,800	1.517,760
		1.000	1.750	2m x Ø 1900 G4	495,051	584,400	1.324,800
		500	1.000	1m x Ø 1900 G4	275,829	292,200	662,400
		300	600	1m x Ø 1600 G4	159,933	169,200	558,720
		200	400	1m x Ø 1400 G4	108,869	124,800	482,400
		150	300	1m x Ø 1500 G2	80,805	88,200	324,720
		100	200	1m x Ø 1200 G2	52,563	57	261,360
		75	165	1m x Ø 1100 G2	43,524	46,200	238,320
		50	115	1m x Ø 900 G2	29,7145	31,200	192,960
		25	60	1m x Ø 700 G2	14,642	18,600	149,760
15	40	1m x Ø 500 G2	9,319	9,600	106,560		
MEGAYATES ( según L )	160 m	9.500	9.500	8m x Ø 2000 G4	2662,771	2.803,200	6.071,040
	140 m	7.000	7.000	6m x Ø 2000 G4	2003,205	2.102,400	4.553,280
	120 m	4.500	4.500	5m x Ø 1900 G4	1295,933	1.461	3.312
	100 m	3.500	3.500	3m x Ø 2000 G4	1003,780	1.051,200	2.276,640
	70 m	1.600	1.600	2m x Ø 1800 G4	452,949	487,200	1.255,680
60 m	1.100	1.100	1m x Ø 2000 G4	310,7486	350,400	758,880	
50 m	700	700	1m x Ø 1700 G4	199,484	202,800	593,280	

Tabla 35. Dimensionamiento de defensa cilíndrica a partir de la energía cinética cedida por los buques durante el Atraque Lateral.

TIPO DE BUQUE	CLASE	Mb- $\Delta$ pc (t)	ATRAQUE FRONTAL			
			DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (KJ)	ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)
EMBARCACIONES DEPORTIVAS Y DE RECREO A MOTOR ( Motor Yachts and Boats).	SUPERYATES	500	1m x $\varnothing$ 1800 G4	233,253	243,600	627,840
		250	1m x $\varnothing$ 1700 G2	116,626	123,600	367,920
		150	1m x $\varnothing$ 1400 G2	69,976	76,800	303,840
EMBARCACIONES DEPORTIVAS Y DE RECREO A VELA ( Sailing Yachts and Boats).	YATES VELEROS	Mb- $\Delta$ pc (t)				
		1.500	2m x $\varnothing$ 2000 G4	699,761	700,800	1.517,760
		1.000	2m x $\varnothing$ 1800 G4	466,507	487,200	1.255,680
		650	1m x $\varnothing$ 2000 G4	303,230	350,400	758,880
		550	1m x $\varnothing$ 1900 G4	256,579	292,200	662,400
		190	1m x $\varnothing$ 1600 G2	88,636	105,600	346,320
		125	1m x $\varnothing$ 1300 G2	58,313	64,800	282,240

**Tabla 36.** Dimensionamiento de defensa cilíndrica a partir de la energía cinética cedida por los buques durante el Atraque Frontal.

TIPO DE BUQUE	CLASE	Mb- $\Delta$ pc (t)	ATRAQUE LATERAL			
			DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (KJ)	ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)
EMBARCACIONES DEPORTIVAS Y DE RECREO A MOTOR ( Motor Yachts and Boats).	SUPERYATES	500	1m x $\emptyset$ 1800 G2	141,864	148,200	389,520
		250	1m x $\emptyset$ 1400 G2	70,624	76,800	303,840
	150	1m x $\emptyset$ 1100 G2	41,427	46,200	238,320	
TIPO DE BUQUE	CLASE	Mb- $\Delta$ pc (t)	ATRAQUE LATERAL			
			DEFENSA PROPUESTA	ENERGÍA ATRAQUE (KJ)	ENERGÍA DEFENSA (KJ)	REACCIÓN DEFENSA (KN)
EMBARCACIONES DEPORTIVAS Y DE RECREO A VELA ( Sailing Yachts and Boats).	YATES VELEROS	1.500	2m x $\emptyset$ 1800 G4	432,805	487,200	1255,680
		1.000	1m x $\emptyset$ 1900 G4	286,788	292,200	662,400
		650	1m x $\emptyset$ 2000 G2	184,852	192,600	470,160
		550	1m x $\emptyset$ 1900 G2	156,057	172,800	410,40
		190	1m x $\emptyset$ 1200 G2	52,827	57	261,360
125	1m x $\emptyset$ 1000 G2	34,680	38,400	213,840		

**Tabla 37.** Dimensionamiento de defensa cilíndrica a partir de la energía cinética cedida por los buques durante el Atraque Lateral.

En estas tablas destacan las elevadas dimensiones de las defensas cilíndricas a consecuencia de las consideraciones previas y a la imposibilidad de cuantificar la influencia de los avances tecnológicos en componentes mecánicos auxiliares en las operaciones de atraque. Con el fin de ser precisos en estos cálculos, se han seleccionado las dimensiones aproximadas a las situaciones y valores reales, considerando el resto valores sesgados por la razón anterior. Tras esta consideración los datos obtenidos son:

Defensas para Mercantes	Reacción (KN)		DIFERENCIA %
	Con remolcadores	Sin Remolcadores	
HANDYMAX	1.140,480	4.553,280	74,952
SEAWAYMAX	346,320	1.883,520	81,613
			78,282

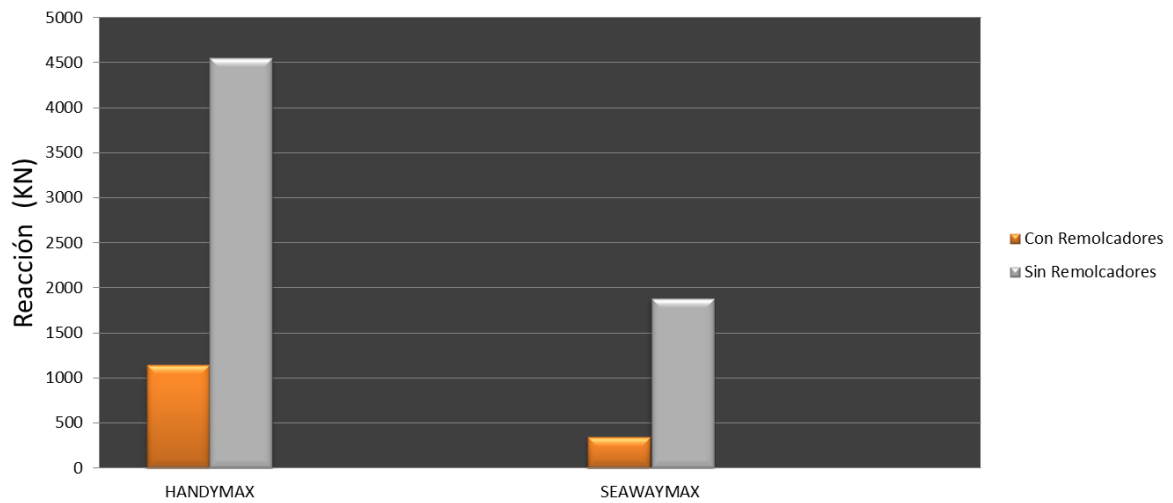
*Tabla 38. Reacción defensas de escudo para buques Mercantes con y sin ayuda de Remolcadores.*

Defensas para Graneleros	Reacción (KN)		DIFERENCIA %
	Con remolcadores	Sin Remolcadores	
VLBC	3.794,400	30.355,200	87,500
CAPEXSIZE	1.517,760	2.0678,400	92,660
PANAMAX	758,880	5.961,600	87,270
HANDYMAX	662,400	5.299,200	87,500
HANDYSIZE	558,720	4.746,240	88,228
MINI BULK CARRIERS	346,320	2.234,880	84,503
			87,943

*Tabla 39. Reacción defensas de escudo para buques Graneleros con y sin ayuda de Remolcadores.*

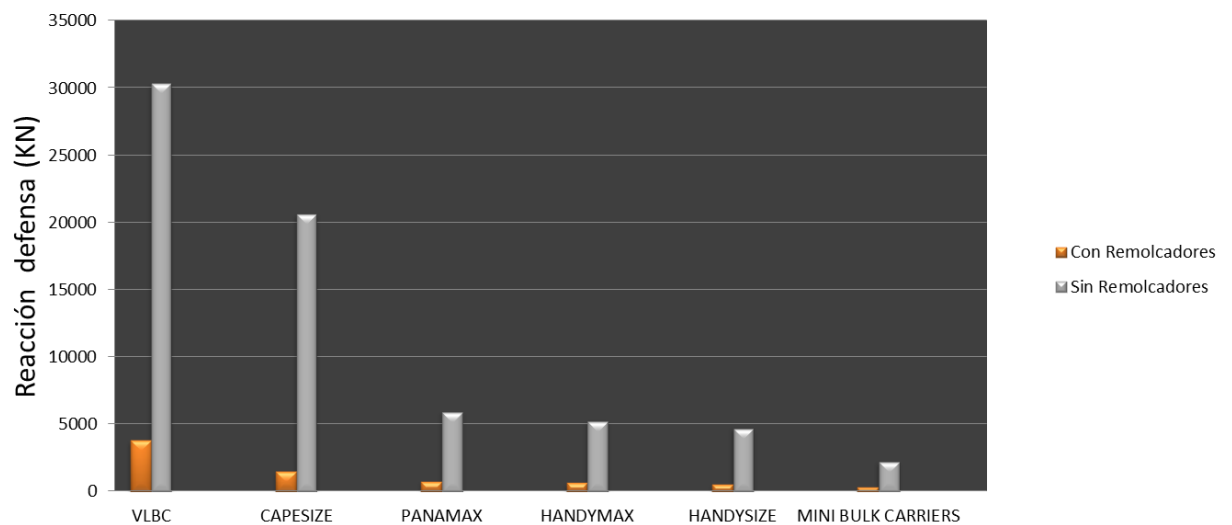
Estas tablas reflejan las diferencias existentes en las reacciones de los sistemas de defensas escogidos, considerando si se han utilizado remolcadores durante las maniobras de atraque. Indicando que para las defensas para Buques Mercantes y Graneleros, esta desigualdad supone un 78,28% y un 87,94% respectivamente.

### MERCANTES DE CARGA GENERAL



**Gráfico 19.** Reacción defensas de escudo para buques Mercantes de carga general con y sin ayuda de remolcadores.

### GRANELEROS



**Gráfico 20.** Reacción defensas de escudo para buques Graneleros con y sin ayuda de remolcadores.

En el caso de las defensas cilíndricas dimensionadas para absorber la energía cinética desarrollada por buques Portacontenedores, la repercusión del empleo de remolcadores durante el atraque supone un 85,14% de diferencia en sus reacciones.



## PORTACONTENEDORES

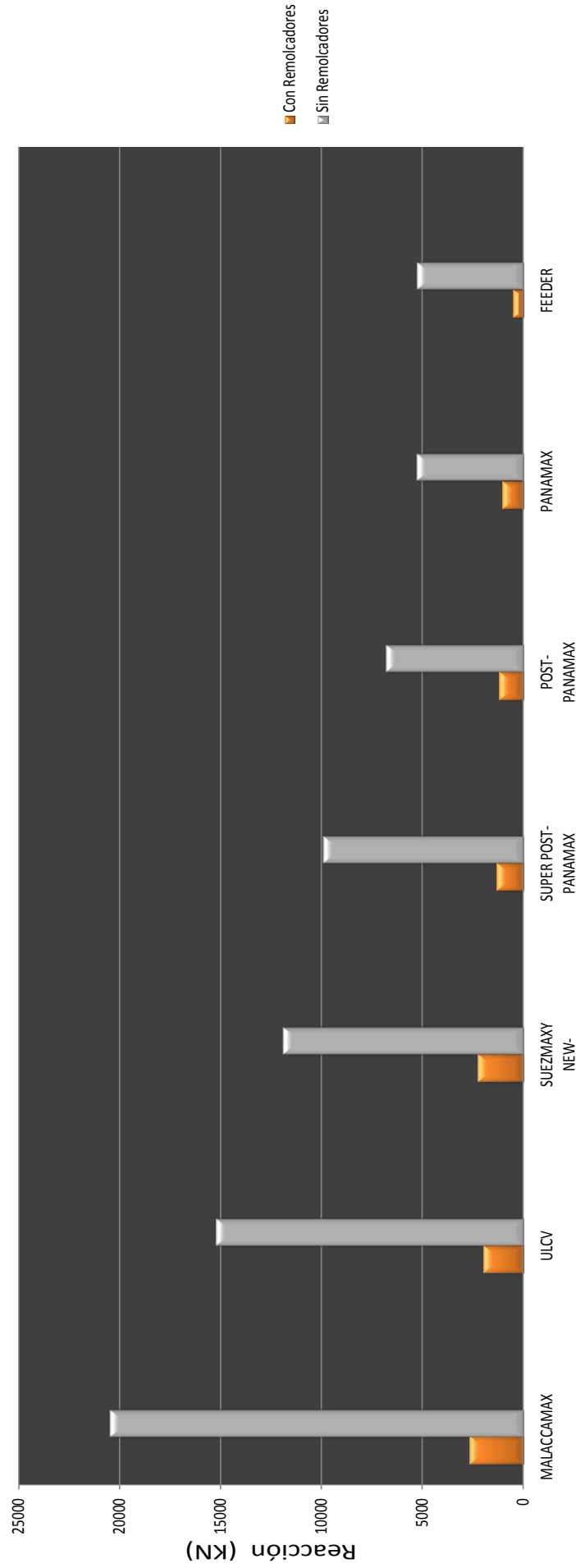


Gráfico 21. Reacción defensas de escudo para buques Portacontenedores con y sin ayuda de remolcadores.

Defensas para Portacontenedores	Reacción (KN)		DIFERENCIA %
	Con remolcadores	Sin Remolcadores	
MALACCAMAX	2.649,600	20.489,760	87,068
ULCV	1.987,200	15.235,200	86,956
SUEZMAXY NEW-PANAMAX	2.234,880	11.923,200	81,256
SUPER POST-PANAMAX	1.324,800	9.936	86,666
POST-PANAMAX	1.186,560	6.829,920	82,627
PANAMAX	1.033,920	5.312,1600	80,536
FEEDER	482,400	5.299,200	90,896
			85,144

Tabla 40. Reacción defensas de escudo para buques Portacontenedores con y sin ayuda de remolcadores.

Tras analizar los resultados, se concluye que la influencia del empleo de remolcadores representa una variación media de un 83,79 % en los valores de las reacciones propias de las defensas cilíndricas. Dicho valor se aproxima a la diferencia de energía cinética al considerar el empleo de remolcadores, que se cuantificaba en un 87,42%. Que dichos valores sean muy próximos nos indica que hemos dimensionado correctamente nuestro sistema de defensas, ya que al considerar las reacciones junto a la energía cinética disipadas durante la transmisión obtenemos el equilibrio necesario para el correcto funcionamiento del conjunto de las defensas.

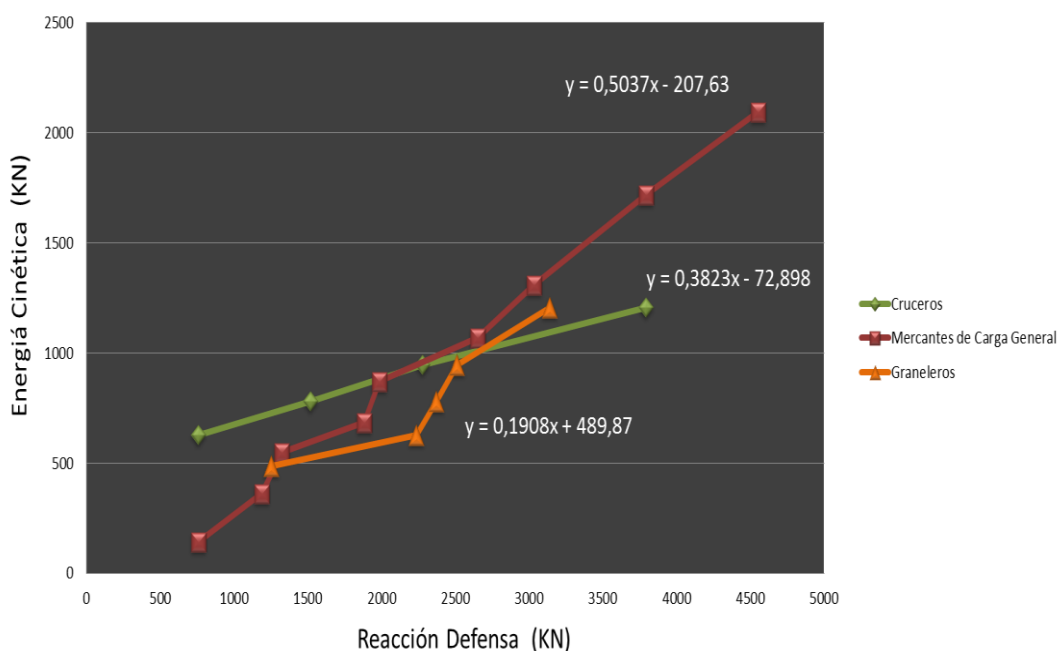


Gráfico 22. Ratio E/R correspondiente a defensas cilíndricas.

Si analizamos la eficiencia del sistema de defensas a través de la relación E/R, se obtiene que el ratio E/R en el caso de defensas tipo cilíndricas alcanza un valor medio de 0,359. Este resultado es inferior al obtenido en el caso de defensas de escudo, para las cuales el ratio E/R, tomaba valores en torno a 0,883. De este análisis se deduce que las defensas de escudo presentan una mejor relación entre la absorción de energía y la fuerza de reacción (E/R), que las defensas cilíndricas.

A continuación se muestran unas imágenes del sistema de defensas cilíndricas dimensionadas en este estudio.





Imágenes 29, 30, 31, 32 y 33. Defensas cilíndricas.

## 8. CONCLUSIONES

Los buques durante las maniobras de aproximación a puerto ejercen grandes fuerzas sobre las estructuras de atraque y es necesario tener conocimiento sobre las características del buque, los requisitos geométricos, las condiciones climáticas, la velocidad de atraque y el ángulo de aproximación para cuantificarlas. El cálculo y análisis de la energía cinética de atraque en este estudio, ha sido abordado desde el procedimiento matemático analítico de solución aproximada de Saurín y Riselada; basándose en las recomendaciones incluidas en la **ROM 2.0-11. Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre. Criterios generales y factores de proyecto** [ TOMO I ,II; Serie II ]

Existen múltiples códigos de diseño de uso común y tienen un enfoque similar en base a la ecuación general de la energía cinética. La diferencia se encuentra en la precisión de las velocidades de atraque proporcionadas. Este factor junto a la masa del buque son los más importantes en la determinación de la energía. La velocidad de atraque al intervenir al cuadrado en la formulación, hace que el cálculo de la energía sea muy sensible a las variaciones de dicho parámetro. Del estudio de los datos obtenidos, se aprecia que existe una relación directa entre la masa del buque y la energía cinética desarrollada. Las velocidades de diseño de atraque de la ROM son superiores a las velocidades de atraque en el PIANC2002 y BS6349.

A la hora de determinar la velocidad, resulta imprescindible considerar si el atraque se ha efectuado con la ayuda de remolcadores, puesto que de la presente memoria se extrae que la influencia del uso de remolcadores durante el atraque origina una diferencia de un 87,42% en la cantidad de energía cinética desarrollada por los buques.

Para el caso de la energía cedida en la maniobra de Atraque Lateral, se encuentran valores entorno a un 45-50% inferiores que los propios del Atraque Frontal. Esto se debe a una mayor velocidad de aproximación e influencia del ángulo de aproximación para el caso del Atraque Frontal.

Las elevadas cantidades de energía obtenidas en estos cálculos encuentran su origen en que se han considerado condiciones climáticas desfavorables en la mayoría de los casos, no correspondiéndose con la situación real; ya que en estas ocasiones los buques no atracan, al suponer un riesgo bastante elevado para el personal, las embarcaciones y las estructuras de atraque. En adición, también indicar que pese a la prioridad de obtener unos cálculos precisos y fiables, no se ha podido considerar la influencia sobre la energía cinética del empleo de elementos auxiliares de atraque, de



carácter novedoso, como son las hélices Laterales; que facilitan la ejecución y precisión de las maniobras.

Como consecuencia de las razones expuestas anteriormente no se ha utilizado el factor de ataque anormal a la hora de dimensionar las defensas y se estima que existe un amplio margen de operatividad y funcionamiento del sistema de defensas elegido, que garantiza la integridad del conjunto implicado; logrando un mínimo traspaso de fuerza reactiva hacia la estructura y una presión sobre el casco de las naves acorde a las recomendaciones técnicas sobre la materia.

Un buen diseño de defensas comprende muchas disciplinas y exige la cooperación entre el conocimiento teórico y la experiencia en las maniobras de ataque del mundo real. Las defensas tipo escudo presentan una elevada capacidad de absorción de energía y por tanto un buen comportamiento en ataques de determinado riesgo. Mientras que las defensas cilíndricas son apropiadas para disipar grandes cantidades de energía y mantener amarrado con seguridad un buque, durante las operaciones de carga y descarga. A partir de las las tablas incluidas en esta memoria, se puede predimensionar de manera sencilla y rápida el sistema de defensas para cualquier buque, en función de la energía desarrolla por el mismo durante las maniobras de ataque.

Como resultado de las variaciones en las cantidades de energía dependiendo de si se emplea o no la ayuda de remolcadores, se concluye que la influencia del empleo de estas embarcaciones auxiliares representa una variación media de un 83,79 % en los valores de las reacciones propias de las defensas cilíndricas y un 78,91% para las defensas de escudo. Dicho valor se aproxima a la diferencia de energía cinética al considerar el empleo de remolcadores. Que dichos valores sean muy próximos nos indica que hemos dimensionado correctamente nuestro sistema de defensas, ya que al considerar las reacciones junto a la energía cinética disipadas durante la transmisión de energía, obtenemos el equilibrio necesario para el correcto funcionamiento del conjunto.

Respecto a las dimensiones de las defensas escogido, se debe destacar que como resultado de las consideraciones efectuadas en el cómputo de la energía cinética que atestatan que el sistema de defensas se encontraba sobredimensionado, se han obtenido valores sesgados que han sido descartados; seleccionando aquellos resultados más próximos a los que con frecuencia encontramos en los sistemas de defensa de los puertos existentes.

Con la intención de completar el análisis de los sistemas de defensas, se ha analizado la fuerza en la estructura de la defensa por unidad de energía absorbida. Obteniendo que el ratio E/R en el caso de defensas tipo cilíndricas alcanza un valor medio de 0,359, inferior al obtenido en el caso de defensas de escudo, para las cuales el ratio E/R, tomaba valores en torno a 0,883. De este análisis se deduce que las



defensas de escudo presentan una mejor relación entre la absorción de energía y la fuerza de reacción ( $E/R$ ), que las defensas cilíndricas.

Este estudio de la eficiencia solo considera energía y reacción. Uno más detallado tomaría en consideración los ángulos de compresión, temperatura y velocidad de impacto, entre otros factores.

Por todo lo anterior, se considera que seleccionar el sistema de defensa óptimo, es una ardua tarea y se deben revisar todos los requerimientos del proyecto y cualquier otra información disponible (códigos y manuales de referencia de diseño); considerando poco práctico el estandarizar los criterios de diseño, puesto que las condiciones en cada puerto no son idénticas.

## 9. LEYENDA

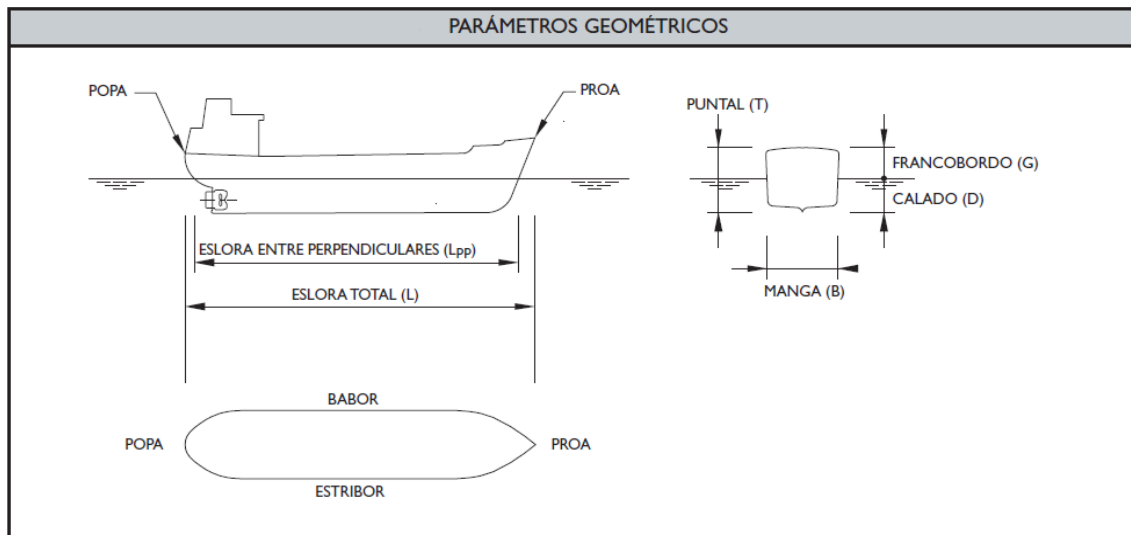


Imagen 34. Parámetros geométricos del buque.

**Ef:** Energía Cinética cedida por el buque al sistema de atraque (kNm).

**Eb:** Energía Cinética desarrollada por el buque en el atraque (kNm).

**Mw:** Masa de agua movilizada ( t ).

**Resg.B:** Resguardo bruto (m).

**De:** Calado estático del buque (m).

**Cm:** Coeficiente de masa hidrodinámica ( adimensional ).

**Mb:** Masa del buque ( t ).

**Ce:** Coeficiente de excentricidad ( adimensional ).

**Cg:** Coeficiente geométrico del buque ( adimensional ).





**Cc:** Coeficiente de configuración del atraque ( adimensional ).

**Cs:** Coeficiente de rigidez del sistema de atraque ( adimensional ).

**V.viento:** Velocidad del viento en el emplazamiento correspondiente a 10 m de altura y ráfaga de 1 minuto (m/s).

**V.corriente:** Velocidad de la corriente en el emplazamiento en superficie, obtenido como valor medio en un periodo de medición de 10 minutos. ( m/s)

**Altura de ola:** Altura de la ola generada ( $H_s$ ) o o de la onda generada por buques en tránsito ( $H_{b,max}$ ), (m).

**Hs:** Altura de la ola significativa en el emplazamiento y en presencia de la obra (m).

**Hb,max:** Altura de la onda máxima generada por buques en tránsito en el emplazamiento y en presencia de la obra (m).

**Vb:** Componente normal a la línea de atraque de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto ( m /s ).

**$\Delta$ :** Desplazamiento del buque en la condición de carga considerada (KN).

**k:** Radio de giro del buque alrededor del eje vertical que pasa por el centro de gravedad.

**Iz:** Momento de inercia del buque respecto a su centro de gravedad ( $m^4$ ).

**R:** Distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque, medida en la dirección de la línea de atraque (m).

**r:** Distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque, medida sobre el eje longitudinal del buque (m).

**g:** Aceleración de la gravedad (  $9,8 \text{ m/s}^2$  ).

**$\alpha$ :**Ángulo de aproximación ( $^\circ$ ).

**B:** Manga del buque (m).



**Cb:** Coeficiente de atraque ( adimensional).

**L:** Eslora del buque (m).

**$\emptyset$ :** Ángulo formado entre el vector velocidad de aproximación del buque y la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque(º).

**Cbl:** Coeficiente de bloque del buque ( adimensional ).

**Lf:** Separación entre sistemas de defensa (m).

**d<sub>cg</sub>:** Descentramiento entre el c.d.gravedad, respecto al c.d.geométrico (m).

**V<sub>b,α</sub>:** Velocidad del buque en la dirección de aproximación en el momento de impacto ( m/s).

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] **B.F, Saurin.** *Berthing forces of large tankers, proceedings of the sixth world petroleum congress*, 1963.
- [2] **CEDEX.** *Análisis crítico de los sistemas de atraque de buques*, 2009.
- [3] **Dirección de Obras Portuarias. Ministerio de Obras Públicas de Chile.** *Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de Obras Marítimas y costeras*, 2013.
- [4] **FenderTeam AG.** *Manual de diseño de defensas*, 2013.
- [5] **Galor, Wieslaw.** *The analysis of effective energy of ship's berthing to the quay.* Maritime University of Szczecin, 2012.
- [6] **García, Robert.** [www.ingenieromarino.wordpress.com/2012/11/9-remolcadores](http://www.ingenieromarino.wordpress.com/2012/11/9-remolcadores), 2012.
- [7] **G.Versteegt.** *Berthing loads in structural design*, 2013.
- [8] **Luanda.S, Ramón.** *Instalaciones Portuarias*, 2012.
- [9] **PIANC** "Berthing velocity and fender design" 2012.
- [10] **Prosertek.** [www.prosertek.com](http://www.prosertek.com). «s.f.».
- [11] **Puertos del Estado.** *Recomendaciones para Obras Marítimas ROM 2.0-11 [TOMO I ] . Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre*, 2012.
- [12] **Rankine.** *Berthing Velocities and Brolsma's curves*, 2010.
- [13] **Riselada, T.J.** *Report on the effective Fender systems in European countries*, 1964.



[14] **Theodore T.Lee.** *Full-Scale Investigation of Berthing impacts and evaluation of a Hydraulic-Pneumatic Floating Fender.* «s.f.».

[15] **Trelleborg marine systems.** *Fender application Design Manual,* 2015.

[16] **Trelleborg.** *Fender Systems,* 2015.

[17] **Trelleborg.** *Multipurpose & Tug-Fenders,* 2015.

[18] **Vasco, C.F.** *Berthing Manoeuvres of Large Ship.* The Dock & Harbour Authority, 1968.

