

ANEJO Nº8: CÁLCULO DE DEFENSAS Y BOLARDOS

TUTOR:

VICENTE CERDÁ GARCÍA DE LEONARDO

AUTORES:

ROBERTO ARZO MARTÍ

FECHA: JUNIO 2015



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INDICE

1.CONSIDERACIONES.....2

2.ATRAQUE DE BUQUES2

2.1. BUQUE TIPO.....2

2.2. ENERGÍA DE ATRAQUE. CÁLCULO DE DEFENSAS.....2

2.3 CARGAS DE AMARRE. CÁLCULO DE BOLARDOS.....4

1.CONSIDERACIONES

Se quiere determinar el tamaño de la defensa y el bolardo mínimos necesarios para instalar en el muelle de la terminal objeto del presente proyecto. La disposición de éstos en planta puede verse en el plano nº6.2 *Planta de distribución de defensas y bolardos*.

A continuación se desarrollan los cálculos realizados para obtener el dimensionamiento de las defensas y los bolardos.

2.ATRAQUE DE BUQUES

2.1. BUQUE TIPO

El buque elegido para realizar los cálculo es el buque *Super Post PANAMAX* , cuyas dimensiones son las máximas que van a atracar en el muelle objeto del proyecto. Las dimensiones de este buque son las mencionadas anteriormente del buque de diseño y que se muestran en la siguiente tabla :

BUQUE SUPER POST PANAMAX	
Eslora Total (L)	350 m
Calado Máximo (D)	15 m
Manga (B)	42 m
Capacidad	9000 TEUs
Eslora entre perpendiculares (Lpp)	320 m
Desplazamiento (Δ)	173.577 t
Puntal (T)	25,2 m
Francobordo (G)	10,2 m
Área frontal expuesta (A _T)	1373,4 m ²
Área lateral expuesta (A _L)	7104 m ²

2.2. ENERGÍA DE ATRAQUE. CÁLCULO DE DEFENSAS

La energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque se calcula admitiendo que el movimiento del buque hacia el atraque es una traslación sin rotación, de dirección prácticamente coincidente con la normal a la superficie de atraque . Según la *ROM 0.2-90* se calcula mediante la siguiente fórmula :

$$E = \frac{1}{2} \times C_m \times \Delta \times V_b^2$$

Siendo:

E: Energía cinética característica, en t·m

Δ : Desplazamiento = $L_{pp} \times B \times D \times 0,6 \times 1,025$

V_b: Componente normal a la superficie de atraque de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto, en m/s

C_m : Coeficiente de masa hidrodinámica (adimensional) = 1 + 2·(D/B)

g: Aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)

Para la maniobra de atraque se puede suponer una velocidad lateral mediante traslación transversal preponderante en dirección sensiblemente perpendicular a la línea de atraque y con ayuda de remolcadores, según la tabla 3.4.2.3.5.2. de la *ROM 0.2-90*:

$$V_b = 0,09 \text{ m/s}$$

Sustituyendo:

$$\Delta = (320 \times 42 \times 15 \times 0,6 \times 1,025) \times 1,4 = 173.577 \text{ t}$$

$$V_b = 0,09 \text{ m/s}$$

$$C_m = 1 + 2 \times \frac{15}{42} = 1,71$$

$$E = \frac{1}{2 \times 9,8} \times 1,71 \times 173577 \times 0,09^2 = 122,664 \text{ t}$$

La energía a absorber por el sistema de atraque puede aproximarse mediante la siguiente expresión:

$$E_f = f \times E$$

$$f = C_e \times C_g \times C_c \times C_s$$

Siendo:

E_f : Energía cinética absorbida por el sistema de atraque

E: Energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque

C_e : Coeficiente de excentricidad

C_g : Coeficiente geométrico del buque

C_c : Coeficiente de configuración del atraque

C_s : Coeficiente de rigidez del sistema de atraque

Para el cálculo de estos coeficientes se han utilizado los valores reflejados en la *ROM 0.2-90*, tablas 3.4.2.3.5.4., 3.4.2.3.5.5. y 3.4.2.3.5.6.

C_b : Coeficiente de bloque del buque

$$C_b = \frac{\Delta}{L_{PP} \times B \times D \times \gamma_w} = \frac{173577}{320 \times 42 \times 15 \times 1,025} = 0,84$$

$$k = (0,19 \times C_b + 0,11) \times L = (0,19 \times 0,84 + 0,11) \times 350 = 94,36$$

$$a = 0,25 \times L = 0,25 \times 350 = 87,5$$

$$\gamma = 75^\circ$$

$$C_e = \frac{k^2 + a^2 \times \cos \gamma^2}{k^2 + a^2} = \frac{94,36^2 + 87,5^2 \times \cos 75^2}{94,36^2 + 87,5^2} = 0,568$$

$$C_g = 1$$
 (El impacto se supone en la parte recta del barco)

El coeficiente de configuración del atraque depende de la tipología del muelle:

$$C_c = 0,8$$
 para muelle de gravedad (estructura maciza)

Para el coeficiente de rigidez del sistema de atraque consideraremos éste como flexible, es decir, que la defensa se deforma más de 0,15 m por efecto del impacto del buque.

$$C_s = 1,0$$

Por tanto, sustituyendo todos los coeficientes, obtenemos la energía que deberán absorber las defensas:

$$E_f = (0,568 \times 1,00 \times 0,80 \times 1,00) \times 122,664 = 55,74 \, t \cdot m = 557,4 \, KN \cdot m$$

En condiciones extraordinarias el sistema de defensas deberá ser capaz de absorber una energía igual al doble de la calculada (ROM 0.2-90, página 199), esto es **1114,70 KN·m**.

Se propone disponer defensas del tipo **Fentek SCN 1100 E3.1**, capaz de absorber una energía total de **1150 KN·m**.

Fender	H	ØW	ØU	C	D	ØB	Anchors	ØS	Head Bolts	Z	Weight (kg)
SCN 300	300	500	295	27-37	15	440	4-M20	255	4-M20	45	31
SCN 350	350	570	330	27-37	15	510	4-M20	275	4-M20	52	40
SCN 400	400	650	390	30-40	20	585	4-M24	340	4-M24	60	74
SCN 500	500	800	490	32-42	25	730	4-M24	425	4-M24	75	144
SCN 550	550	880	525	32-42	25	790	4-M24	470	4-M24	82	195
SCN 600	600	960	590	40-52	30	875	4-M30	515	4-M30	90	240
SCN 700	700	1120	685	40-52	35	1020	4-M30	600	4-M30	105	395
SCN 800	800	1280	785	40-52	35	1165	6-M30	685	6-M30	120	606
SCN 900	900	1440	885	40-52	35	1313	6-M30	770	6-M30	135	841
SCN 1000	1000	1600	980	50-65	35	1460	6-M36	855	6-M36	150	1120
SCN 1050	1050	1680	1030	50-65	40	1530	6-M36	900	6-M36	157	1360
SCN 1100	1100	1760	1080	50-65	40	1605	8-M36	940	8-M36	165	1545
SCN 1200	1200	1920	1175	57-80	40	1750	8-M42	1025	8-M42	180	1970
SCN 1300	1300	2080	1275	65-90	40	1900	8-M48	1100	8-M48	195	2455
SCN 1400	1400	2240	1370	65-90	50	2040	8-M48	1195	8-M48	210	3105
SCN 1600	1600	2560	1570	65-90	60	2335	8-M48	1365	8-M48	240	4645
SCN 1800	1800	2880	1765	75-100	60	2625	10-M56	1540	10-M56	270	6618
SCN 2000	2000	3200	1955	80-105	90	2920	10-M56	1710	10-M56	300	9560

Tabla 1 : Características y dimensiones defensas tipo SCN

En estas condiciones, la reacción transmitida al buque resulta ser de **158,26 t**. Disponiéndose un tablero de dimensiones 2,00 x 3,50 m, la presión sobre el caso del buque resulta ser:

$$p = \frac{158,26}{2 \times 3,5} = 22,6 \, t/m^2$$

Esta presión es inferior a las **25 t/m2** reflejadas en la ROM 0.2-90 (página 198), por lo tanto cumple.

Los detalles y dimensiones de las defensas se detallan en el plano nº6.7.*Defensas,Bolardos y Superestructura*.

En cuanto a la separación entre defensas, la ROM recomienda una distancia máxima entre 0,15L y 0,17L, siendo L la longitud de la eslora del buque menor esperable en el muelle. Como la menor eslora esperada en el dique es de 225 m, en base a esta exigencia, **las defensas se colocarán en el muelle cada 33,75 metros a lo largo del muelle**.

$$0,15 \times 225 = 33,75 \text{ m}$$

2.3 CARGAS DE AMARRE. CÁLCULO DE BOLARDOS

Se consideran acciones de amarre según la ROM 2.0-11 las cargas transmitidas por el buque a la estructura de atraque y amarre cuando permanece en el puesto de atraque amarrado. Dicha transmisión de cargas se realiza a través del contacto directo entre el buque y el sistema de atraque (estructura de atraque y sistema de defensas) y/o indirectamente a través de las líneas de amarre tensionadas utilizadas para la limitación de movimientos.

Para el cálculo del sistema de amarre se van a considerar las acciones provocadas por el viento, ya que el oleaje y las corrientes no son significativas en el emplazamiento de del muelle, debido a que se trata de una obra abrigada. Además, con el objetivo de simplificar el cálculo no se han considerado las siguientes acciones:

- Operaciones de carga y descarga de los buques
- Efectos de la resonancia de las ondas largas
- Acciones provocadas por la onda generada por el paso de otros buques

Por lo tanto, para el dimensionamiento de los bolardos sólo se consideran como cargas de amarre las producidas por el viento, ya que se considera la acción más significativa. Para el cálculo de éstas se utilizará la metodología expuesta en la tabla 3.4.2.3.5.9. de la ROM 0.2-90.

Se toma como velocidad del viento (V_V) la correspondiente al valor extremal asociado al máximo riesgo admisible ($V_{V,1 \text{ min}}$). El valor de $V_{V,10 \text{ min}}$ se toma de la ROM 0.4-95, gráfico B4, área VII, caracterización extremal:

$$V_{V,10 \text{ min}} = 29 \text{ m/s}$$

Se toman los factores de altura y rugosidad superficial (F_A) y topográfico (F_T) igual a 1, mientras que el factor de

ráfaga (F_R) igual a 1.31.

$$V_{V,1 \text{ min}} = 1,31 \times 29 = \mathbf{38,0 \text{ m/s}}$$

La situación más desfavorable se supone con el viento soplando perpendicularmente a la línea de atraque. Del lado de la seguridad, se toma el coeficiente de direccionalidad pésimo que resulta ser:

$$K_a = 0,90$$

Por tanto, el valor de cálculo resulta ser:

$$V_V = 0,90 \times 38,0 = \mathbf{34,2 \text{ m/s}}$$

Según la ROM 2.0-11, la resultante horizontal que provoca la acción del viento sobre el buque amarrado, se puede estimar mediante 3 componentes:

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

$$F_{TV} = R_V \times \sin \phi$$

$$F_{LV} = R_V \times \cos \phi$$

$$M_{TV} = F_{TV} \times e = F_{TV} \times K_e \times L$$

A continuación se describe cada término de las ecuaciones con la ayuda de una figura extraída de la tabla 4.6.4.59 de la ROM 2.0-11 :

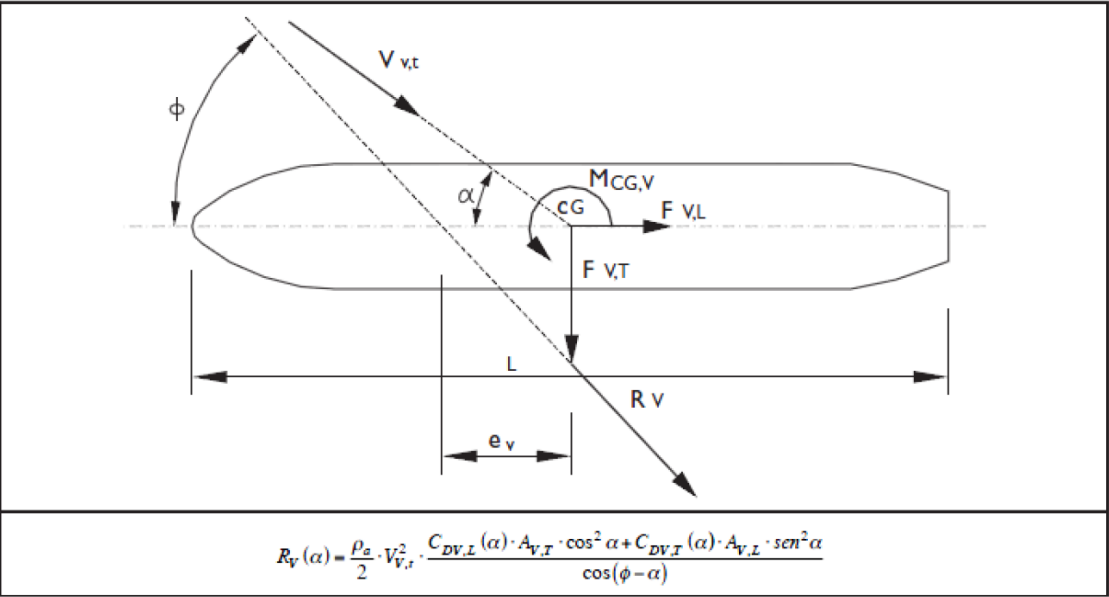


Tabla 2 : Tabla 4.6.4.59 de la ROM 2.0-11

$C_{DV,L}$: Factor de arrastre para el viento actuando en la dirección longitudinal del buque, con valor de 0,90 para viento de proa ($\alpha=0^\circ$) y 0,70 para viento de popa ($\alpha=180^\circ$).

$C_{DV,T}$: Factor de arrastre para el viento actuando en la dirección normal al eje del buque. Toma valor 1.

$A_{V,T}$: Área emergida de la proyección del buque sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del mismo expuesta a la acción del viento, en m^2 .

$$A_T = B \times (G + h_T)$$

Donde G es el francobordo (m) y h_T altura media de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del buque (m). h_T toma el valor de 22,5 m según la tabla 4.1 de la ROM 3.1- 99.

$A_{V,L}$: Área emergida de la proyección del buque sobre un plano vertical que contenga a su eje longitudinal expuesta a la acción del viento, en m^2 .

$$A_L = L_{PP} \times (G + h_L)$$

Donde L_{PP} es la distancia entre perpendiculares (m) y h_L es la altura media de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del buque. h_L toma el valor de 12 m según la tabla 4.1 de la ROM 3.1-99

ρ_a : Densidad del aire. Normalmente se emplea un valor de $1.23 \cdot 10^{-3} \text{ t/m}^3$.

$K_{v,e}$: Coeficiente adimensional de excentricidad. Depende de la situación de carga del buque, y de la posición de la superestructura del mismo en relación a la dirección de actuación del viento.

En ROM 3.1-99, mediante la tabla 4.1 permite realizar un cálculo estimado mediante la siguiente fórmula:

$$R_v = \frac{\rho}{2g} \cdot C_{VF} \cdot V_{vr}^2 (A_{TV} \cdot \cos^2 \alpha_{vr} + A_{LV} \cdot \sin^2 \alpha_{vr}) = \frac{C_{VF} \cdot V_{vr}^2}{16.000} (A_{TV} \cdot \cos^2 \alpha_{vr} + A_{LV} \cdot \sin^2 \alpha_{vr})$$

Los valores de cálculo se muestran en la siguiente tabla:

	Régimen extremo
V_v	34,2 m/s
ρ_a	$1,225 \cdot 10^{-3} \text{ t/m}^3$
h_L	12 m
h_T	22,5 m
G	10,2 m
B	42 m
L_{PP}	320 m
$A_{V,L}$	7104 m^2
$A_{V,T}$	$1373,4 \text{ m}^2$
C_{VF}	1,3
$K_{v,e}$	0,02
ϕ	90°
R_v	675,116 t
$F_{V,L}$	0 t
$F_{V,T}$	675,116 t
M_{TV}	4320,74 t·m

Los datos de las tablas representan las cargas a las cuales está sometido el buque durante el amarre. Para la obtención de las cargas de amarre es necesario resolver el siguiente sistema de ecuaciones propuesto por la ROM (método 2) teniendo en cuenta el esquema del sistema de amarres.

$$R_L = \sum_i S \cdot \cos \phi_i \cdot \cos \theta_i$$

$$R_T = \sum_i S \cdot \cos \phi_i \cdot \sin \theta_i$$

Siendo:

Φ el ángulo que forma la amarra con la horizontal y ϑ el ángulo formado por la proyección horizontal de la amarra con el eje longitudinal del buque.

Según la ROM el sistema de amarre en condiciones normales está compuesto por dos traveses, dos largos y dos esprin. Asimismo, para las ecuaciones se ha estimado que todas las amarras trabajan a igual tensión considerando que todas ellas tienen las mismas características materiales y de sección transversal. Los ángulos que se forman con el eje longitudinal del buque son: 10 ° para los esprin, para los traveses 80 ° y para los largos 20 °.

Para amarres en condiciones extremas, será necesario añadir dos largos y dos traveses más para que los esfuerzos generados por el buque sean absorbidos por los bolardos. Las ecuaciones y las tensiones resultantes serían:

$$FL = T2 \times \cos(10) \times \cos(10)$$

$$FT = 4 \times T1 \times \cos(20) \times \sin(20) + 2 \times T1 \times \cos(10) \times \sin(10) + 4 \times T1 \times \cos(20) \times \sin(80)$$
 Donde T1 es la tensión en amarras cuando las acciones son de dirección transversal, y T2 es la tensión en amarras cuando las acciones son de componente longitudinal.

Los resultados obtenidos despejando las ecuaciones son :

T1	126,768 t
T2	0 t

Para tener en cuenta los efectos dinámicos, la ROM propone multiplicar por 1.5 la tensión máxima resultante del cálculo. Por tanto, la carga de amarre que deberán resistir los bolardos será:

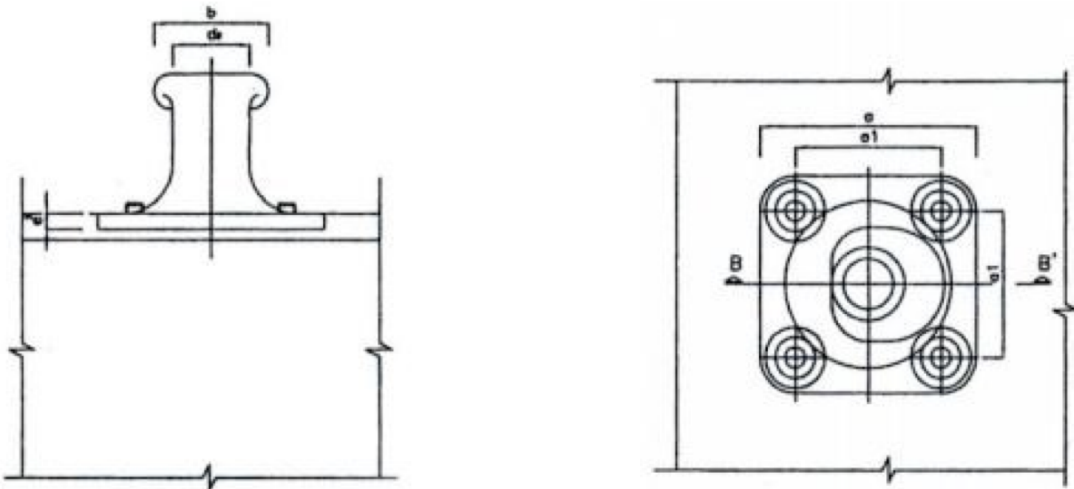
$$T = 1.5 \cdot \text{máx.}(T1, T2) = 126,768 \times 1,5 = 190,152 \text{ t}$$

Si se tienen en cuenta los requisitos de la tabla 3.2.4.35.15 de la ROM 0.2-90, las cargas de amarre tienen que ser como mínimo 150 t de tiro de bolardo, por lo tanto el tiro de bolardo obtenido en condiciones extremas (190,152 t) cumple lo que exige la ROM.

TABLA 3.4.2.3.5.15. CARGAS HORIZONTALES MÍNIMAS DE AMARRE PARA BUQUES DE DESPLAZAMIENTO SUPERIOR A 20.000 t	
DESPLAZAMIENTO (en t)	CARGAS DE AMARRE (en t)
20.000 ~ 50.000	80
50.000 ~ 100.000	100
100.000 ~ 200.000	150
> 200.000	200

Tabla 3: Tabla 3.4.2.3.5.15. de la ROM 0.2-90

Para la elección del bolardo se ha seleccionado del siguiente catálogo el que tiene un tiro nominal de 200 toneladas.



Bolardo									
Tiro nominal (Tn)	Dimensiones (mm)								
	a	a1	d	d1	d2	e1	e2	h	b
5	470	270	35	82	170	35	35	290	250
10	500	330	40	90	190	40	40	330	280
15	500	330	42	92	200	40	40	350	300
30	600	400	66	130	230	45	45	410	350
50	730	500	75	140	260	50	50	470	400
75	860	580	80	160	290	60	60	530	450
100	940	640	91	180	320	65	65	590	500
125	1000	700	101	190	350	70	70	650	550
150	1000	700	101	190	380	75	75	710	600
175	1150	800	112	210	410	80	80	760	650
200	1230	850	112	210	410	85	85	800	700

Tabla 4 : Tabla del catálogo de bolardos tipo

Los detalles y dimensiones de los bolardos se detallan en el plano *nº6.7.Defensas,Bolardos y Superestructura*.

Respecto a la disposición de los bolardos en planta, la *ROM 2.0-11* indica que deberá disponerse un número suficiente de puntos de amarre y con un espaciamiento y altura tal que permita el amarre de todos los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque. También recomienda que la separación mínima entre la línea de atraque (cantil) y la parte más exterior del punto de amarre será, en todo caso, de 0.15 m.

En este caso, se va a proyectar una fila de bolardos que discurre a lo largo de todo el muelle y coincidiendo con las defensas, la distancia entre ellos será de **33,75 m**.

La disposición de los bolardos y defensas se encuentran en el plano plano *nº6.2 Planta de distribución de defensas y bolardos*.

Valencia, Junio 2.015

AUTOR DEL PROYECTO



Fdo. Roberto Arzo Martí

