

Hoja de control de calidad

Documento	Anejo nº6 Estudio de amarre y Tren de fondeo		
Proyecto	Proyecto Básico de Remodelación del Club Náutico Portitxol y adecuación del entorno		
Código	CP2684-PB-AN-06-CP-Amarre-D02		
Autores:	Firma:	VMA	
	Fecha:	09/10/25	
Verificado	Firma:	BPM	
	Fecha:	09/10/25	
Destinatario	Club Náutico Portitxol		
Notas			
Confidencialidad	Información confidencial		

Índice

Anejo n ° 6 Estudio de amarre y del tren de fondeo	3
1. Introducción	3
2. Embarcación de diseño	3
2.1. Dársena interior	3
2.2. Nueva dársena	4
3. Viento de diseño	5
4. Descripción del sistema de amarre	12
5. Acciones en los elementos de amarre	13
5.1. Efecto del viento	13
5.1.1. Dirección viento DDv 0° (longitudinal a la embarcación)	15
5.1.2. Dirección viento DDv 90° (transversal a la embarcación)	16
5.2. Acciones	16
5.2.1. Embarcaciones de L= 6m (dársena interior)	16
5.2.2. Embarcaciones de L= 8m (dársena interior)	17
5.2.3. Embarcaciones de L= 12m (dársena interior)	17
5.2.4. Embarcaciones de L= 10m (nueva dársena exterior)	18
5.2.5. Embarcaciones de L= 12m (nueva dársena exterior)	18
6. Cornamusas en pantalanes y muelles	19
7. Tren de fondeo	20
7.1. Peso muerto	20
7.2. Cadenas y cabos	23
7.3. Requerimientos instalación del muerto	24

Anejo n ° 6 Estudio de amarre y del tren de fondeo

1. Introducción

En el presente documento se realiza el dimensionamiento de los elementos de amarre en pantalanes y muelles, así como del tren de fondeo de las embarcaciones. De forma general, se determina en primer lugar la velocidad del viento aplicable sobre las embarcaciones conforme a lo establecido en la ROM 0.4-95. A partir de dichas acciones, se calculan los esfuerzos en los elementos de amarre indicados, utilizando la metodología recogida en la ROM 2.0-11.

2. Embarcación de diseño

2.1. Dársena interior

La dársena interior está formada por embarcaciones de 5m, 6m, 7m, 8m, 9m, 10m, 11m y 12m de eslora. Para determinar el sistema de amarre en pantalanes y muelles se considera en toda la dársena interior (pantalanes 1 a 8) las siguientes embarcaciones tipo:

- **Elementos de amarre (cornamusas):**
 - **Pantalanes 1 a 7:** Embarcación tipo de **8m de eslora y 3m de manga** en toda la dársena.
 - **Pantalán 8:** Embarcación tipo de **12m de eslora y 4m de manga**
- **Tren de fondeo de embarcaciones:**
 - **Pantalanes 1 a 7:**
 - Embarcación tipo de **8m de eslora y 3m de manga** en toda la dársena.
 - Embarcación tipo de **6m de eslora y 2,6m de manga**,
 - **Pantalán 8:**
 - Embarcación tipo de **12m de eslora y 4m de manga**

A continuación se muestra una imagen de la dársena interior y su distribución de pantalanes y amarres.

DISTRIBUCIÓN DE AMARRES				
ESLORAS	MANGAS	Cp	Cb	Nº ATRAQUES
5m	2.5m	0.5m	0.3m	53
6m	2.6m	0.5m	0.3m	53
7m	2.8m	0.5m	0.3m	71
8m	3m	0.5m	0.3m	77
9m	3.1m	0.5m	0.3m	2
10m	3.3m	0.5m	0.3m	7
11m	3.5m	0.5m	0.3m	2
12m	4m	0.5m	0.3m	4
Nº TOTAL DE AMARRES 269				

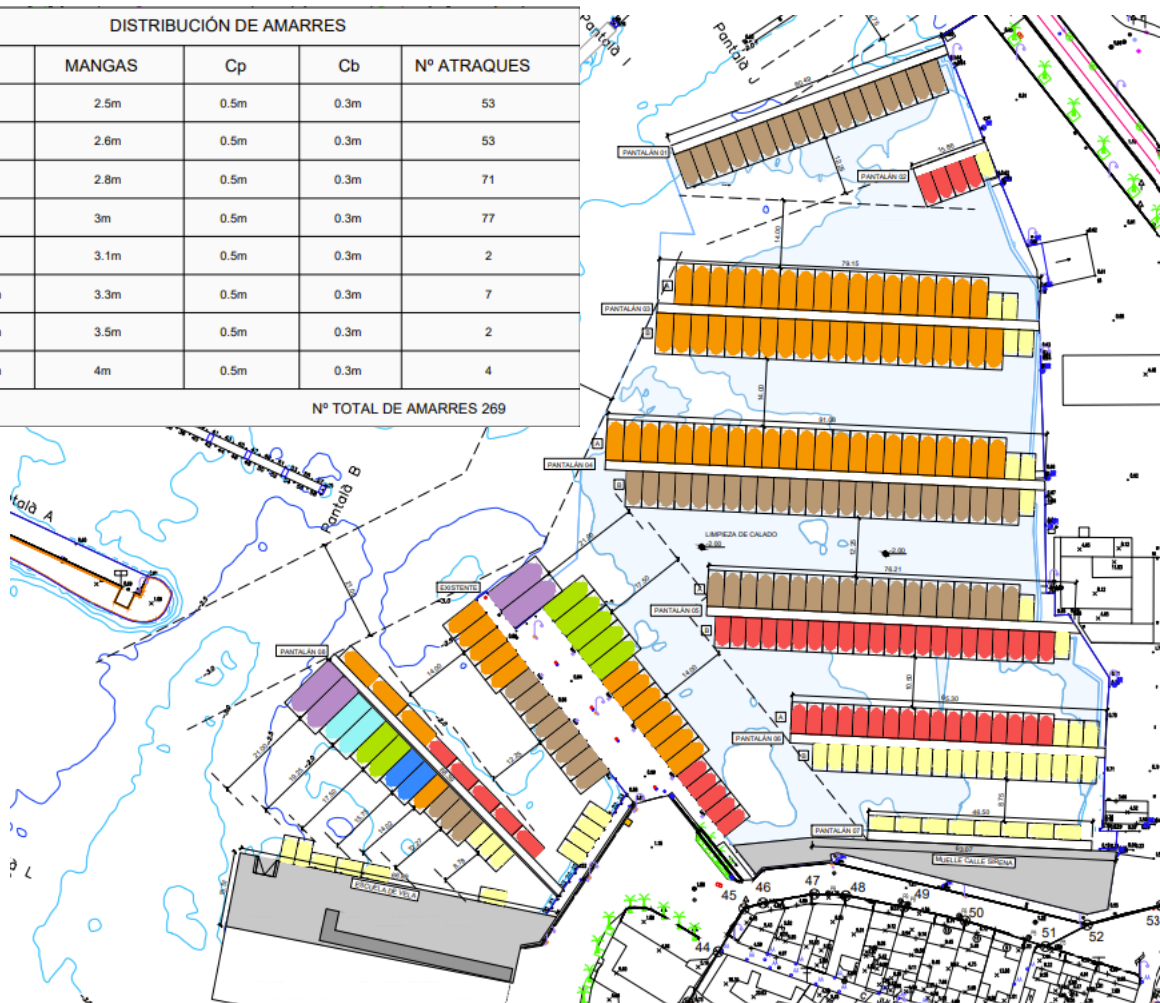


Imagen 1. Pantalanes 1 a 8 en Dársena Interior. Fuente: TPYSA

2.2. Nueva dársena

La nueva dársena está formada por los pantalanes 9, 10 y 11 y está al abrigo del dique de Sa Roqueta actual y la prolongación del mismo definida en el presente proyecto. Da amarre a embarcaciones de 8m, 9m, 10m, 11m y 12m de eslora.

Para determinar el sistema de amarre en estos pantalanes se consideran las siguientes embarcaciones tipo.

- **Elementos de amarre (cornamusas):**
Embarcación tipo de **12m de eslora y 4m de manga** en toda la dársena
- **Tren de fondeo de embarcaciones:**
 - Embarcaciones tipo de **10m de eslora y 3,3m de manga** y
 - Embarcaciones de **12m de eslora y 4m de manga**.

A continuación se muestra una imagen de la dársena interior y su distribución de pantalanes y amarres.

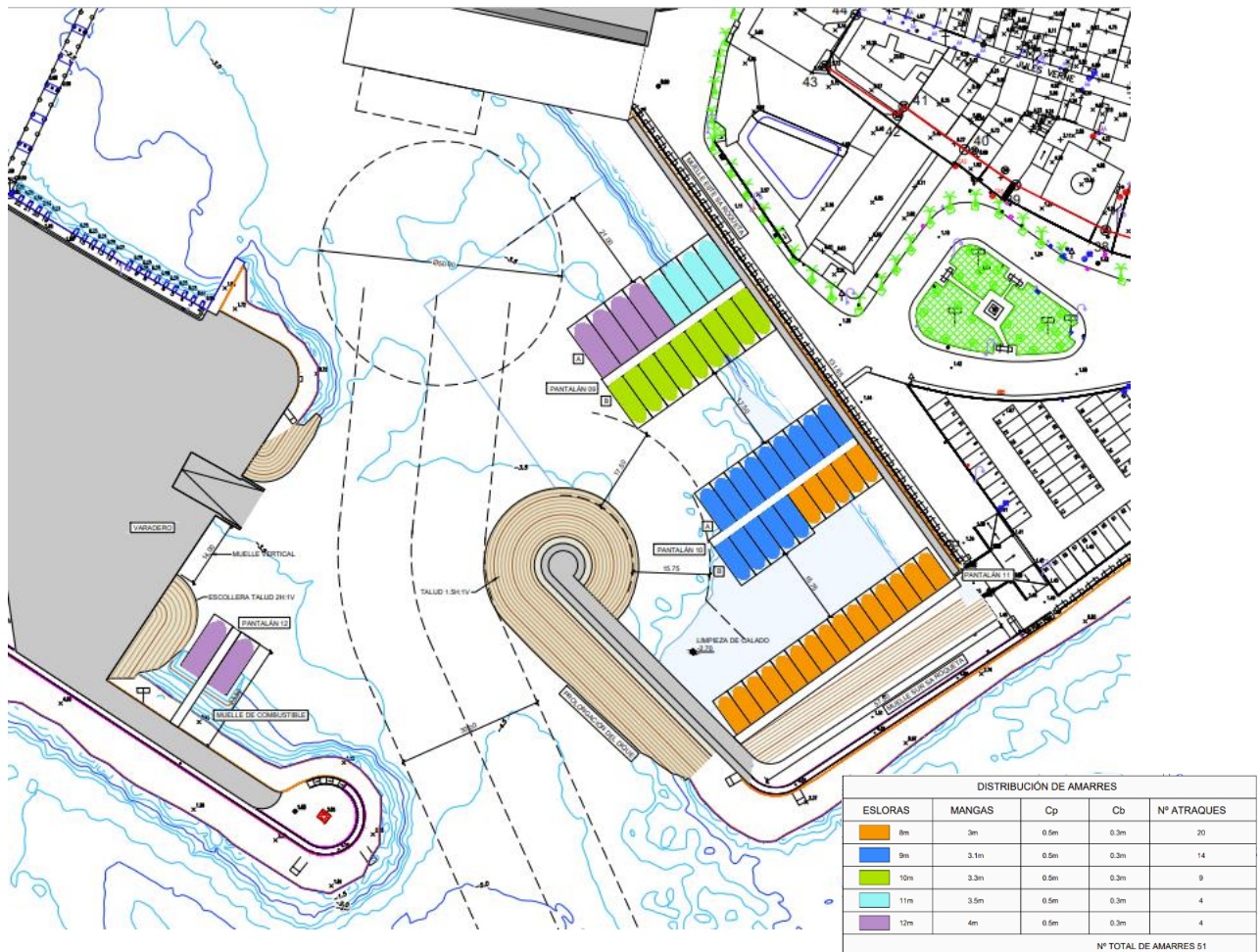


Imagen 2. Nueva Dársena. Fuente: TPYSA

3. Viento de diseño

El dimensionamiento de los elementos de amarre y del tren de fondeo, vendrá determinado por la velocidad del viento considerada.

Se sigue, para ello, el método establecido en la ROM 0.4-95 en la que se establece la velocidad de viento básica asociada al periodo de retorno considerado en el diseño.

La expresión de la velocidad de viento es la siguiente:

$$V_{v,t}(z)|_{T,\alpha} = V_b|_{T,\alpha} \cdot F_A \cdot F_T \cdot F_R$$

Siendo:

- $V_{v,t}(z)|_{T,\alpha}$: Velocidad de viento de proyecto en la dirección α asociada a un periodo de retorno T , correspondiente a un intervalo de medición de ráfaga t y una altura z .
- $V_b|_{T,\alpha}$: Velocidad básica del viento en la dirección α asociada a un periodo de retorno T .
- F_A : Factor de altura y rugosidad superficial.
- F_T : Factor topográfico

- F_R : Factor de ráfaga máxima

- **Velocidad básica del viento**

La velocidad básica de viento se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$V_{b|T,\alpha} = V_{b|50 \text{ años}} \cdot K_T \cdot K_\alpha$$

Donde:

- K_T : Coeficiente de periodo de retorno, definido como

$$K_T = 0,75 \cdot \sqrt{1 + 0,2 \cdot \ln T_r}$$

- K_α : Coeficiente de direccionalidad.
- $V_{b|50 \text{ años}}$: Velocidad básica de viento asociada a un periodo de retorno de 50 años

En la siguiente figura se puede observar que esta velocidad básica de viento asociada a un periodo de retorno de 50 años en la zona de estudio es de **28 m/s**.

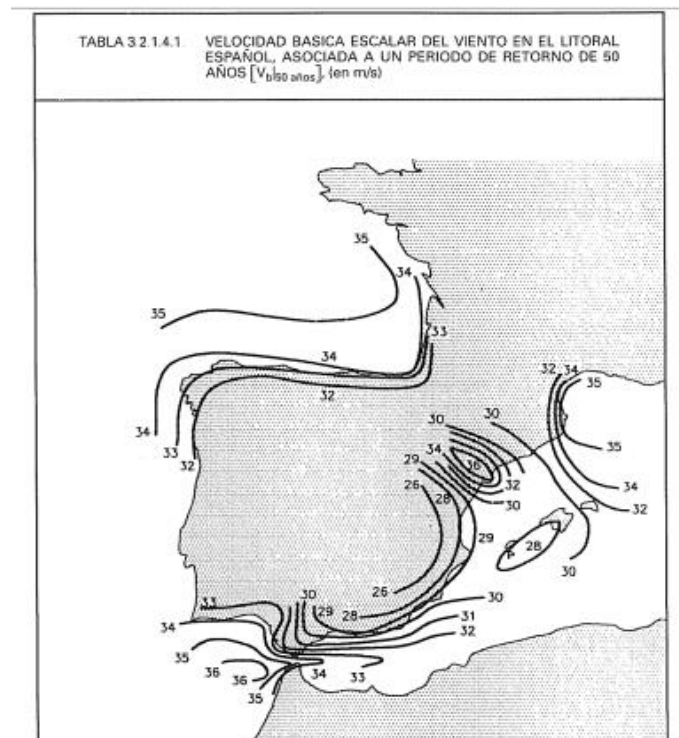


Imagen 3. Velocidad básica escalar del viento en el litoral asociada a un T_r de 50 años (m/s). Fuente: ROM 0.4-95

Se consideran en el estudio las direcciones de procedencia del viento que pueden producir tensión máxima en las amarras, al ser las más desfavorables. Estas son las **direcciones N, S, E, W, NW, SW, NE, SE, ENE, SSW, NNW, SSE**. Son direcciones de viento perpendiculares y/o longitudinales a los pantalanes y muelles de toda la actuación según el caso.

■ **Coefficiente de período de retorno K_T :**

El período de retorno T_T de la actuación es de 142 años, por lo que aplicando la fórmula anterior, se obtiene que $K_T = 1,06$

■ **Coefficiente de direccionalidad K_α :**

La ROM 0.4-95 define los siguientes coeficientes para las correspondientes direcciones de procedencia del viento.

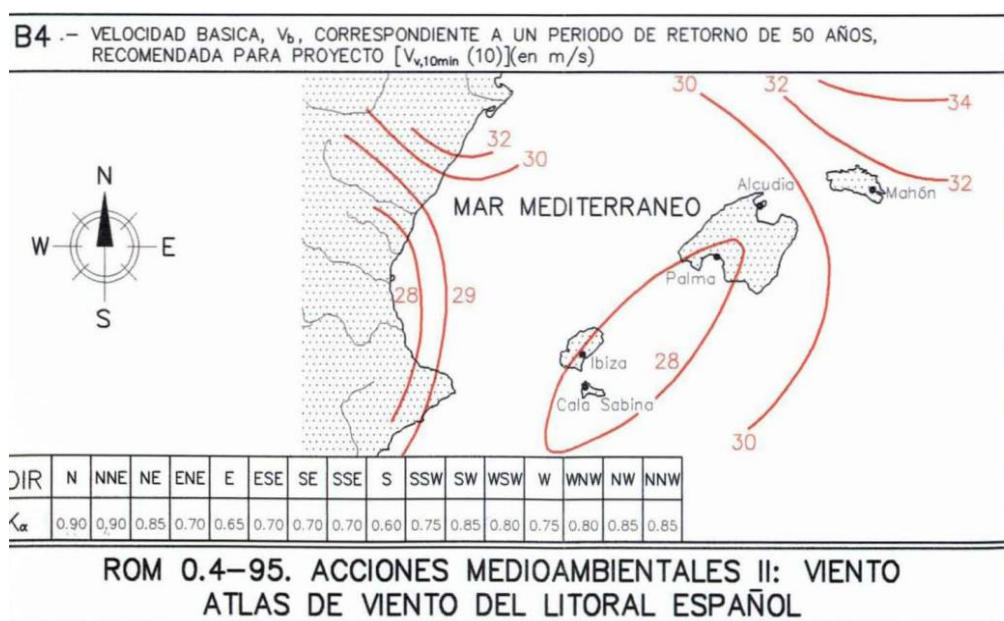


Imagen 4. Coeficientes de direccionalidad para distintas direcciones. Fuente: ROM 0.4-95

En la siguiente tabla se recogen los coeficientes K_α para las direcciones de aplicación indicadas anteriormente:

LOCALIZACIÓN	K_α	
DÁRSENA INTERIOR	Perpendicular a pantalanes 1 a 7 [N]	0.90
	Perpendicular a pantalanes 1 a 7 [S]	0.60
	Paralelos a pantalanes 1 a 7 [E]	0.65
	Paralelos a pantalanes 1 a 7 [W]	0.75
	Perpendicular a pantalán 8 [ENE]	0.70
	Perpendicular a pantalán 8 [SSW]	0.75
	Paralelo a pantalán 8 [NNW]	0.85
	Paralelo a pantalán 8 [SSE]	0.70
NUEVA DÁRSENA EXTERIOR	Perpendicular a pantalanes 9, 10 y 11 [NW]	0.85
	Perpendicular a pantalanes 9, 10 y 11 [SE]	0.70
	Paralelo a pantalanes 9, 10 y 11 [NE]	0.85
	Paralelo a pantalanes 9, 10 y 11 [SW]	0.85

Tabla 1. Coeficientes de direccionalidad en las direcciones de interés. Fuente: TYPESA

■ Factor altura y de rugosidad F_A

La metodología expuesta en la ROM 0.4-95 considera la categoría superficial en función de los accidentes topográficos que se encuentre el viento en su trayectoria según la siguiente tabla:

TABLA 2.1.4.1.1. CATEGORÍAS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA DEFINICIÓN DE LOS FACTORES DE VELOCIDAD DE VIENTO (F) Y VALORES DE LOS PARAMETROS ASOCIADOS		
TIPO DE SUPERFICIE	z_0 (m)	ALTURA DEL NIVEL CERO EFECTIVO SOBRE LA SUPERFICIE (m)
I Mar abierto y campo abierto llano sin obstáculos (<i>p.e. zonas costeras llanas, desiertos...</i>)	0.005	0.00
II Campo abierto, llano u ondulado, con obstáculos dispersos (<i>p.e. praderas, páramos...</i>) (nivel general de los obstáculos de 5 m)	0.05	4.00
III Superficies boscosas, campo con obstáculos abundantes y pequeñas zonas urbanas (nivel general de los obstáculos alrededor de 10 m)	0.30	9.00
IV Superficies con grandes y frecuentes obstáculos y grandes ciudades (nivel general de los obstáculos alrededor de 15 m o más)	1.00	15.00

Imagen 5. Categorías de rugosidad superficial. Fuente: ROM 0.4-95

Por otro lado, el factor de altura y rugosidad superficial (F_A) se calcula a partir de la siguiente tabla. La altura considerada es $z=0,15L$, siendo L la eslora de las embarcaciones de estudio, como se justifica más adelante en el presente documento.

Eslora L (m)	12	10	8	6
Altura Z (m) = 15% L	1,8	1,5	1,2	0,9

Tabla 2. Altura de la embarcación correspondiente a $0,15L$. Fuente: TYPESA

Se considera en el cálculo un valor medio de $z=1,5m$

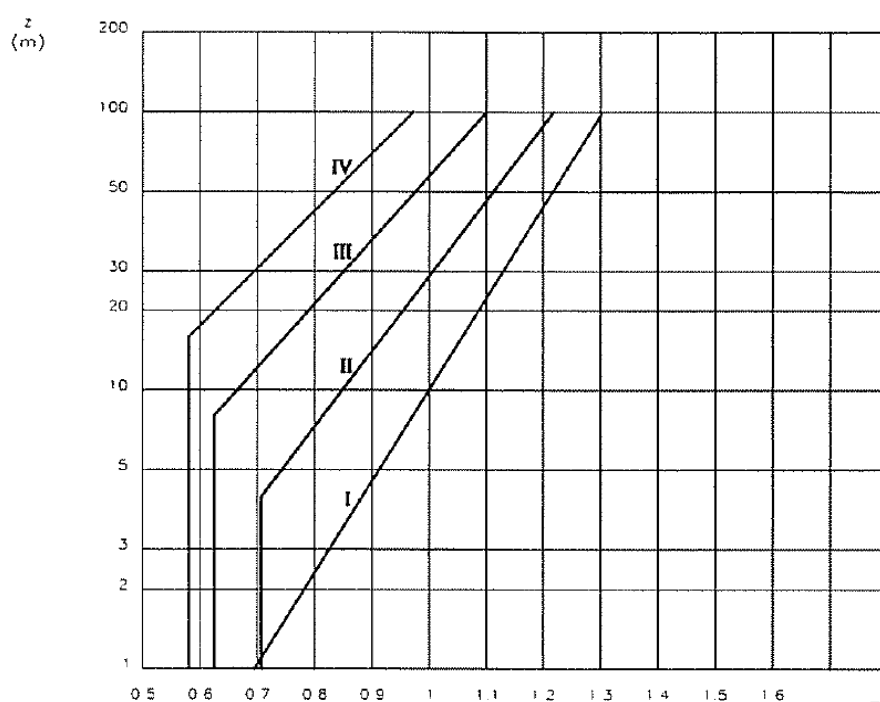


Imagen 6. Factor de altura y rugosidad superficial (F_A). Fuente: ROM 0.4-95

Los valores del factor F_A obtenidos son los siguientes:

LOCALIZACIÓN	DIRECCIÓN DEL VIENTO	CATEGORÍA	F_A^*
DÁRSENA INTERIOR	Perpendicular a pantalanes 1 a 7 [N]	III	0.60
	Perpendicular a pantalanes 1 a 7 [S]	I	0.75
	Paralelos a pantalanes 1 a 7 [E]	III	0.60
	Paralelos a pantalanes 1 a 7 [W]	III	0.60
	Perpendicular a pantalán 8 [ENE]	III	0.60
	Perpendicular a pantalán 8 [SSW]	II	0.70
	Paralelo a pantalán 8 [NNW]	III	0.60
	Paralelo a pantalán 8 [SSE]	II	0.70
NUEVA DÁRSENA EXTERIOR	Perpendicular a pantalanes 9, 10 y 11 [NW]	III	0.60
	Perpendicular a pantalanes 9, 10 y 11 [SE]	I	0.75
	Paralelo a pantalanes 9, 10 y 11 [NE]	III	0.60
	Paralelo a pantalanes 9, 10 y 11 [SW]	I	0.75

Tabla 3. Factor de altura y rugosidad F_A . Fuente: TYPESA

Se considerado una categoría II en las direcciones perpendicular y paralelas al pantalán 8 al estar menos expuestos que en la dársena exterior.

■ Factor topográfico (F_T)

Los efectos de la topografía local no se considerarán significativos para una dirección determinada del viento cuando la pendiente media del terreno a barlovento en una distancia de 5 km desde el punto considerado no exceda de 0,05. En el caso de estudio, la superficie se considerará llana o débilmente accidentada, tomando un valor de $F_T=1,00$

■ **Factor ráfaga (F_R)**

En las tablas siguientes se incluye de acuerdo con la ROM 0.4-95 el factor ráfaga para un tiempo de 15 segundos y a una altura de 10m, correspondiente a embarcaciones de hasta 25 metros de eslora. En este caso concreto, y a efectos de determinar este factor, se considera la existencia de obstáculos dispersos, por lo que aplica la condición de categoría II en los casos en los que corresponden la categoría III. En los casos de las direcciones perpendicular y paralela al pantalán 8 se considera un valor de F_R entre la categoría I y II al estar menos expuestos que en la dársena exterior.

LOCALIZACIÓN	DIRECCIÓN DEL VIENTO	CATEGORÍA	F_R
DÁRSENA INTERIOR	Perpendicular a pantalanes 1 a 7 [N]	II	1.54
	Perpendicular a pantalanes 1 a 7 [S]	I	1.38
	Paralelos a pantalanes 1 a 7 [E]	II	1.54
	Paralelos a pantalanes 1 a 7 [W]	II	1.54
	Perpendicular a pantalán 8 [ENE]	II	1.54
	Perpendicular a pantalán 8 [SSW]	I/II	1.46
	Paralelo a pantalán 8 [NNW]	II	1.54
	Paralelo a pantalán 8 [SSE]	I/II	1.46
NUEVA DÁRSENA EXTERIOR	Perpendicular a pantalanes 9, 10 y 11 [NW]	II	1.54
	Perpendicular a pantalanes 9, 10 y 11 [SE]	I	1.38
	Paralelo a pantalanes 9, 10 y 11 [NE]	II	1.54
	Paralelo a pantalanes 9, 10 y 11 [SW]	I	1.38

Tabla 4. Factor de altura y rugosidad F_R . Fuente: TYPESA

Por tanto, aplicando la formulación incluida al inicio del apartado, las velocidades de viento obtenidas en cada una de las direcciones estudiadas asociadas a un periodo de retorno de diseño de 142 años son las siguientes.

LOCALIZACIÓN	DIRECCIÓN DEL VIENTO	$V_{v,z=10m \text{ y } 15seg}$ (m/s)
DÁRSENA INTERIOR	Perpendicular a pantalanes 1 a 7 [N]	24.65
	Perpendicular a pantalanes 1 a 7 [S]	18.41
	Paralelos a pantalanes 1 a 7 [E]	17.80
	Paralelos a pantalanes 1 a 7 [W]	20.54
	Perpendicular a pantalán 8 [ENE]	19.17
	Perpendicular a pantalán 8 [SSW]	22.72
	Paralelo a pantalán 8 [NNW]	23.28
	Paralelo a pantalán 8 [SSE]	21.21
NUEVA DÁRSENA EXTERIOR	Perpendicular a pantalanes 9, 10 y 11 [NW]	23.28
	Perpendicular a pantalanes 9, 10 y 11 [SE]	21.48
	Paralelo a pantalanes 9, 10 y 11 [NE]	23.28
	Paralelo a pantalanes 9, 10 y 11 [SW]	21.48

Tabla 5. Velocidad del viento considerando $V_{v,z=10m}$ y ráfaga de 15s. Fuente: TYPESA

Como se ha indicado anteriormente, la velocidad del viento obtenida es para una altura $z=10m$, pero debe referirse a la altura de la embarcación. A este respecto, y de acuerdo con lo indicado en el documento de PIANC *RecCom-Report-WG149*, que a su vez recoge lo expuesto por el Departamento de Defensa de EE. UU, en sus Criterios Unificados de Instalaciones '*Design: Small Craft Berthing Facilities*' (2009), a efectos de

obtener la velocidad del viento sobre una embarcación, se puede considerar un perfil simplificado rectangular de embarcación cuya altura media corresponde a $0,15L$, siendo L la eslora de la embarcación. Esto aplica tanto para viento perpendicular como paralelo a la eslora del buque.

Para referir la velocidad del viento a esta altura, se emplea la representación numérica logarítmica que da la velocidad del viento a una altura cualquiera z según la siguiente expresión:

$$V_{v,z=z} = 0,108 \cdot V_{v,z=10m} \cdot \ln (z * 1000)$$

Donde:

- $V_{v,z=z}$ es la velocidad del viento a la altura Z (en km),
- $V_{v,z=10m}$ es la velocidad a 10 m sobre la superficie,
- z se expresa en km (por eso se multiplica por 1000),
- 0,108 es un coeficiente empírico ajustado a condiciones marítimas

Dado que en el estudio del tren de fondeo se han considerado embarcaciones con esloras de 6 m, 8 m, 10 m y 12 m, se ha obtenido la altura Z correspondiente a $0,15L$. Utilizando como referencia una velocidad del viento medida a 10 metros de altura $V_{v,z=10m}=1$, se han calculado las velocidades de viento correspondientes, que resultan ser menores que la velocidad de referencia. De esta manera, como el valor inicial se ha fijado en 1, los valores obtenidos para las distintas alturas actúan directamente como coeficientes de minoración, ya que indican qué fracción de la velocidad de viento a 10 m corresponde realmente a la altura efectiva sobre cada embarcación. En la siguiente tabla se incluyen los resultados obtenidos:

ESLORA L (m)	12	10	8	6
ALTURA Z (m) = 15% L	1,8	1,5	1,2	0,9
$V_{v,z=10m}$	1	1	1	1
$V_{v,z=z}$	0,81	0,79	0,77	0,73
FACTOR DE REDUCCIÓN APLICADO	0,80	0,80	0,75	0,75

Tabla 6. Factor de reducción para obtener $V_{v,z=0,15L}$. Fuente: TYPESA

Aplicando los coeficientes obtenidos, se determinan las siguientes velocidades referidas a las alturas correspondientes en cada embarcación:

LOCALIZACIÓN	ESLORA L (m)	L = 6 / 8	L = 10 / 12
	FACTOR DE REDUCCIÓN	0,75	0,80
	DIRECCIÓN DEL VIENTO	$V_{v,z=0,15L}$ y 15seg (m/s)	
DÁRSENA INTERIOR		18,49	
		18,31	
		13,35	
		15,41	
	15.34		
	18.18		
	18.62		
	16.96		
NUEVA DÁRSENA	18.62		
	17.18		
	18.62		
	17.18		

Tabla 7. Factor de reducción para obtener $V_{v,z=0,15L}$. Fuente: TYPESA

4. Descripción del sistema de amarre

El amarre considerado en la marina tiene una configuración de atraque de punta. Este tipo de amarre suele realizarse o mediante amarre con fingers que arrancan en sentido perpendicular al pantalán principal o mediante amarre a boya o muerto, como se muestra en la siguiente figura (ROM 2.0-11).

Figura 3.2.2. Longitud de la línea de atraque ocupada por una embarcación deportiva atracada de punta

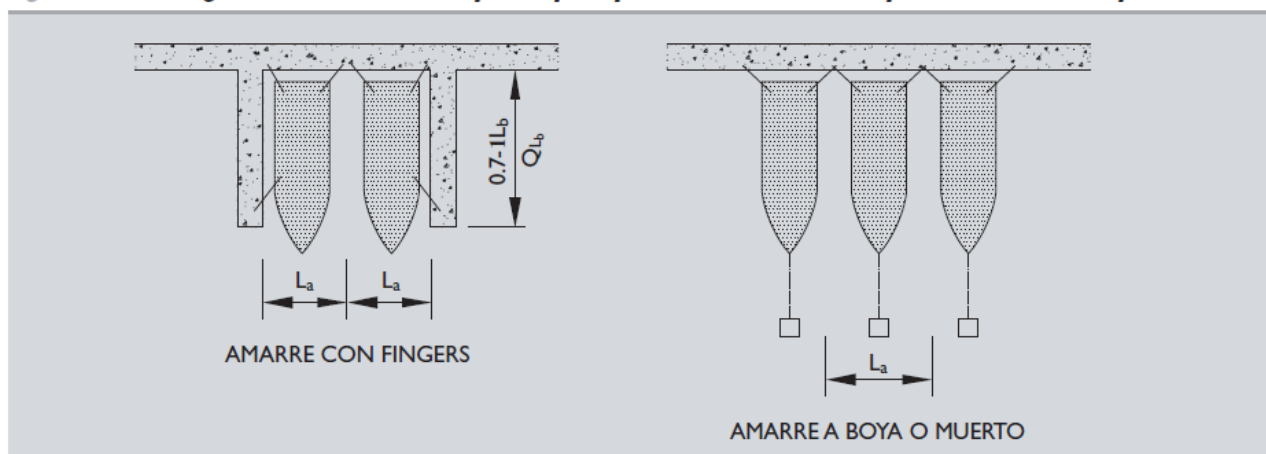


Imagen 7. Tipos de amarre. Fuente: ROM 2.0-11

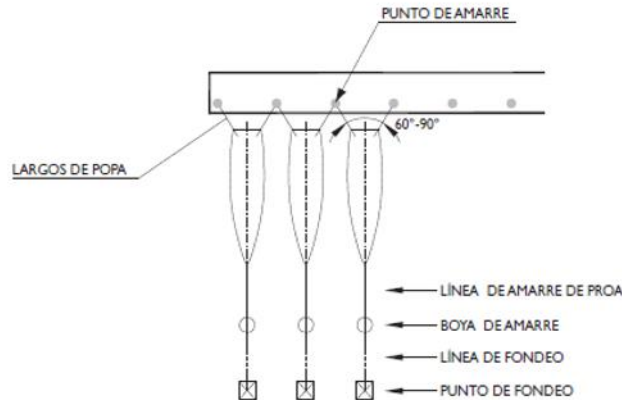
Las principales ventajas e inconvenientes de estos sistemas de amarre son las siguientes:

SISTEMA DE AMARRE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
AMARRE CON FINGERS	<ul style="list-style-type: none"> Delimita físicamente el espacio de amarre entre embarcaciones. No es necesario disponer tren de fondeo para el amarre de punta. Mínima afección al canal de navegación (menor ocupación al no requerir las cadenas de amarre de punta) 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor "rigidez" en el atraque al delimitar las plazas. Menor aprovechamiento de la longitud de atraque del pantalán se traduce en un menor número de amarres y menor flexibilidad para embarcaciones con distintas mangas. Puede presentar problemas debido a movimientos no acompasados entre el pantalán principal y la embarcación. Posibles enganches con defensas
AMARRE SIMPLE A MUERTO	<ul style="list-style-type: none"> Maximiza el aprovechamiento de los amarres del pantalán principal. 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere la instalación de tren de fondeo (muerto, cadena madre y cadena y cabo de amarre). Ocupación del canal de aproximación.

Tabla 8. Ventajas e inconvenientes de los sistemas de amarre. Fuente: TYPESA

En este caso, la distribución de amarre considerada en todas las embarcaciones consiste en un amarre simple a proa (1 cabo al tren de fondeo) y dos amarres a popa (2 cornamusas en pantalán). Cada cornamusa recibe el tiro de dos embarcaciones, salvo en la cornamusa situada en el extremo del muelle o pantalán que solo recibe el de una embarcación.

Para repartir la carga entre los distintos amarres se consideran las siguientes hipótesis.



- Se asume un amarre de 3 líneas: una en punta (L1) y dos (L2 y L3) amarrando al pantalán formando un ángulo de 30° con el eje longitudinal de la embarcación.
- Las cargas en proyección horizontal siguen la siguiente formulación, resultado de considerar equilibrio estático (sumatorio de fuerzas y sumatorio de momentos cero).

- Carga amarre de punta: $F_{L1} = \sum F_{v,L}$
- Carga amarre a pantalán: $F_{L2=L3} = \frac{\sum F_{v,L}}{2 \cdot \cos \alpha} + \frac{\sum F_{v,T}}{\sin \alpha} + \frac{\sum M_{CG,V}}{\frac{B}{2} \cdot \cos \alpha}$

- La carga máxima de amarre es 2,0 veces la carga media obtenida de la formulación (ROM 2.0-11)

5. Acciones en los elementos de amarre

Las cargas de amarre se generan por la acción de agentes externos, principalmente de origen medioambiental, que actúan sobre el buque cuando este se encuentra atracado. Entre los factores externos que pueden inducir cargas de amarre se encuentran el viento, las corrientes, los fenómenos de resonancia, la presencia de flujos o reflujos significativos de agua, así como el paso de otras embarcaciones. En el presente estudio, dado que no se dispone de información suficiente sobre todos estos aspectos, se ha considerado únicamente la acción del viento como agente externo, calculado y analizado en los apartados anteriores de este documento.

5.1. Efecto del viento

El esfuerzo debido al viento que actúa sobre el buque se calcula por medio de la siguiente fórmula:

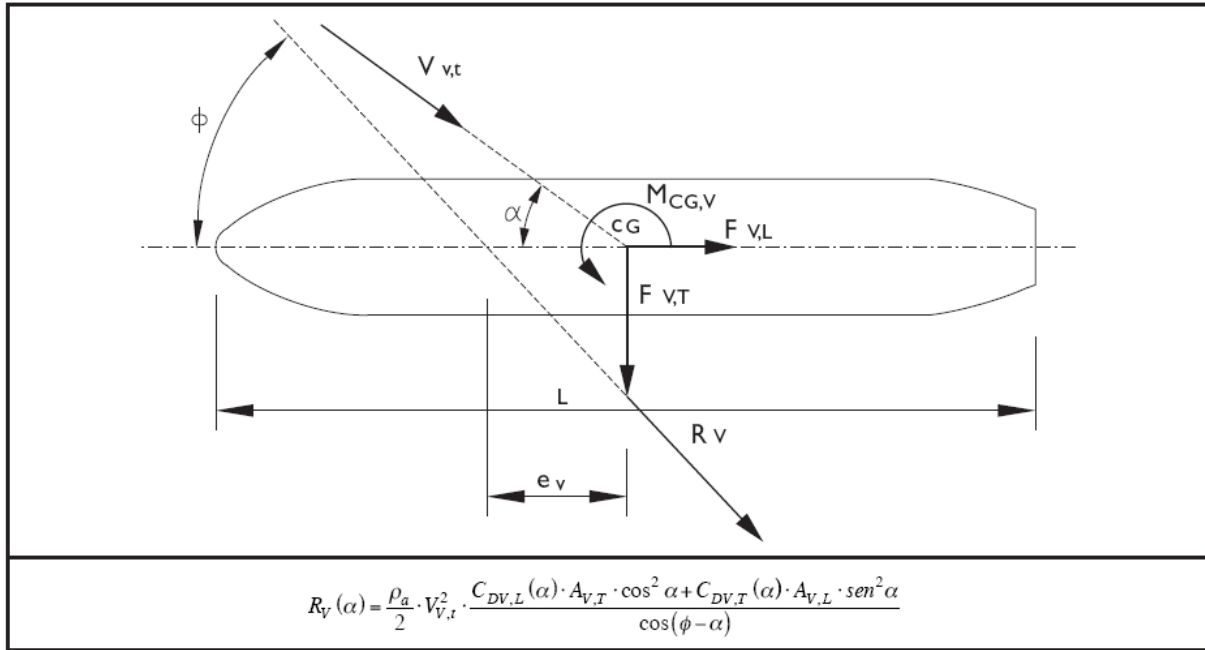


Imagen 8. Formulación de sollicitación del viento sobre el buque. Fuente: ROM 2.0-11

Siendo:

- **$R_v(\alpha)$** : Fuerza total de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección α , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado. (kN)
- **$\Phi(\alpha)$** : Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de la fuerza de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección α sobre el buque amarrado.

$$\Phi(\alpha) = \arctg [(A_{v,L}/A_{v,T}) \cdot \tg \alpha]$$

- **$F_{v,L}(\alpha)$** : Componente en sentido longitudinal del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)

$$F_{v,L}(\alpha) = R_v(\alpha) \cdot \cos \Phi$$

- **$F_{v,T}(\alpha)$** : Componente en sentido transversal del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)

$$F_{v,T}(\alpha) = R_v(\alpha) \cdot \sin \Phi$$

- **$M_{CG,V}(\alpha)$** : Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque. (kN*m)

$$M_{CG,V}(\Phi) = F_{v,T}(\alpha) \cdot e_v(\alpha) = F_{v,T}(\alpha) \cdot K_{v,e}(\alpha) \cdot L$$

- **ρ_a** : Densidad del aire (t/m³)
- **$A_{v,L}$** : Área emergida de la proyección del buque sobre un plano vertical que contenga a su eje longitudinal, incluyendo todos sus elementos y las cargas en cubierta, en la situación de carga considerada.
- **$A_{v,T}$** : Área emergida de la proyección del buque sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del mismo, incluyendo todos sus elementos y las cargas en cubierta, en la situación de carga considerada.

- **CDV,L(α)** : Factor adimensional de arrastre para el viento actuando sobre el buque amarrado en la dirección de su eje longitudinal.
- **CDV,T(α)** : Factor adimensional de arrastre para el viento actuando sobre el buque amarrado en dirección perpendicular a su eje longitudinal ($\alpha = 90^\circ$ o 270°)
- **eV (α)** : Excentricidad de la fuerza total de arrastre resultante de la acción del viento de dirección α sobre el buque amarrado, con respecto al centro de gravedad del buque y medida sobre el plano de crujía (plano vertical que contiene el eje longitudinal del buque). Se considerará excentricidad positiva la que se produzca hacia la proa del buque. (m)
- **KV,e (α)** : Coeficiente adimensional de excentricidad.
- **VV,t** : Velocidad horizontal máxima probable correspondiente al estado de viento, considerando un periodo de medición $t=15$ segundos para embarcaciones con eslora inferior de 25 metros y $t=1$ min para aquellas cuya eslora sea superior a 25 metros (m/s)
- **L** : Eslora total del buque (m)

En el estudio se ha considerado como valor de dirección del viento aquel coincidente con la dirección longitudinal de la embarcación (0° y 180°) y el que actúa en dirección transversal a la embarcación (90° y 270°)

5.1.1. Dirección viento DDv 0° (longitudinal a la embarcación)

En la siguiente tabla se resumen las solicitaciones que el viento desarrolla sobre las embarcaciones en función de la dirección de viento. En este caso se indica 0° para la dirección del viento que es longitudinal a la embarcación, independiente de que pueda ser 180° la dirección de procedencia.

Parámetros	Dársena interior		Nueva Dársena	
	Pantalanes 1 a 7	Pantalán 8	Pantalán 9 y 10	Pantalán 11
Eslora (m)	6.00	8.00	12.00	12.00
A_{vt} (m ²)	4.68	6.38	10.84	10.84
A_{vl} (m ²)	12.00	20.00	37.80	37.80
α (grados)	0.00	0.00	0.00	0.00
ϕ (grados)	0.00	0.00	0.00	0.00
ρ_a (kg/m ³)	1.23	1.23	1.23	1.23
V_{vt} (m/s)	18.49	18.49	18.18	18.62
$C_{dv,l}$	1.20	1.20	1.20	1.20
$C_{dv,t}$	1.50	1.50	1.50	1.50
R_v (kN)	1.18	1.60	2.63	2.76
K_{ve}	0.00	0.00	0.00	0.00
F_{vl} (kN)	1.18	1.60	2.63	2.76
F_{vt} (kN)	0.00	0.00	0.00	0.00
$M_{cg,v}$	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 9. Resultados cálculos para DDv 0° . Fuente: TYPESA

5.1.2. Dirección viento DDv 90° (transversal a la embarcación)

En la siguiente tabla se resumen las solicitaciones que el viento desarrolla sobre las embarcaciones en función de la dirección de viento. En este caso se indica 90° para la dirección del viento que es transversal a la embarcación, independiente de que pueda ser 270° la dirección de procedencia.

Parámetros	Dársena interior			Nueva Dársena	
	Pantalanes 1 a 7		Pantalán 8	Pantalán 9 y 10	Pantalán 11
Eslora (m)	6.00	8.00	12.00	10.00	12.00
A_{vt} (m2)	4.68	6.38	8.58	8.58	10.84
A_{vl} (m2)	12.00	20.00	37.80	29.00	37.80
α (grados)	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
ϕ (grados)	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
ρ_a (kg/m3)	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
V_{vt} (m/s)	15.41	15.41	18.62	18.62	18.62
$C_{dv,l}$	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
$C_{dv,t}$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
R_v (kN)	2.62	4.36	12.05	9.24	12.05
K_{ve}	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
F_{vl} (kN)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F_{vt} (kN)	2.62	4.36	12.05	9.24	12.05
$M_{Cg,v}$	0.31	0.70	2.89	1.85	2.89

Tabla 10. Resultados cálculos para DDv 90°. Fuente: TYPESA

5.2. Acciones

A continuación se resumen las acciones resultantes en el tren de fondeo y pantalán para las esloras de las embarcaciones consideradas en el estudio.

5.2.1. Embarcaciones de L= 6m (dársena interior)

Se considera un valor de manga de 2,60m.

Vv(m/s)	DDv(grados)	FL_Total(kN)	FT_Total(kN)	MCG_Total(kN*m)
18.49	0.00	1.18	0.00	0.00
15.41	90.00	0.00	2.62	0.31

Tabla 11. Resultados acciones embarcaciones de 6m de eslora. Fuente: TYPESA

Parámetros		Envolvente Cargas medias tiro horizontal (Qmedia)		Envolvente Cargas máximas tiro horizontal (Qmax=2,0*Qmedia)	
Velocidad	Dirección del viento	ACCIONES EN EL TREN FONDEO	ACCIONES EN EL PANTALAN	ACCIONES EN EL TREN FONDEO	ACCIONES EN EL PANTALAN
Vv(m/s)	DDv(grados)	FL1 (kN)	FL2=FL3 (kN)	FL1 (kN)	FL2=FL3 (kN)
18.49	0.00	1.18	0.68	2.35	1.36
15.41	90.00	0.00	5.51	0.00	11.03

Tabla 12. Acciones en tren de fondeo y pantalán. Embarcaciones de 6m de eslora. Fuente: TYPESA

5.2.2. Embarcaciones de L= 8m (dársena interior)

Se considera un valor de manga de 3,00m

Vv(m/s)	DDv(grados)	FL_Total(kN)	FT_Total(kN)	MCG_Total(kN*m)
18.49	0	1.60	0.00	0.00
15.41	90	0.00	4.36	0.70

Tabla 13. Resultados acciones embarcaciones de 8m de eslora. Fuente: TYPESA

Parámetros		Envolvente Cargas medias tiro horizontal (Qmedia)		Envolvente Cargas máximas tiro horizontal (Qmax=2,0*Qmedia)	
Velocidad	Dirección del viento	ACCIONES EN EL TREN FONDEO	ACCIONES EN EL PANTALAN	ACCIONES EN EL TREN FONDEO	ACCIONES EN EL PANTALAN
Vv(m/s)	DDv(grados)	FL1 (kN)	FL2=FL3 (kN)	FL1 (kN)	FL2=FL3 (kN)
18.49	0.00	1.60	0.93	3.21	1.85
15.41	90.00	0.00	9.28	0.00	18.56

Tabla 14. Acciones en tren de fondeo y pantalán. Embarcaciones de 8m de eslora. Fuente: TYPESA

5.2.3. Embarcaciones de L= 12m (dársena interior)

Se considera un valor de manga de 4,00m

Vv(m/s)	DDv(grados)	FL_Total(kN)	FT_Total(kN)	MCG_Total(kN*m)
18.18	0.00	2.63	0.00	0.00
18.62	90.00	0.00	12.05	2.89

Tabla 15. Resultados acciones embarcaciones de 8m de eslora. Fuente: TYPESA

Parámetros		Envolvente Cargas medias tiro horizontal (Qmedia)		Envolvente Cargas máximas tiro horizontal (Qmax=2,0*Qmedia)	
Velocidad	Dirección del viento	ACCIONES EN EL TREN FONDEO	ACCIONES EN EL PANTALAN	ACCIONES EN EL TREN FONDEO	ACCIONES EN EL PANTALAN
Vv(m/s)	DDv(grados)	FL1 (kN)	FL2=FL3 (kN)	FL1 (kN)	FL2=FL3 (kN)
18.18	0.00	2.63	1.52	5.26	3.04
18.62	90.00	0.00	25.76	0.00	51.52

Tabla 16. Acciones en tren de fondeo y pantalán. Embarcaciones de 8m de eslora. Fuente: TYPESA

5.2.4. Embarcaciones de L= 10m (nueva dársena exterior)

Se considera un valor de manga de 3,30m

Vv(m/s)	DDv(grados)	FL_Total(kN)	FT_Total(kN)	MCG_Total(kN*m)
18.62	0	2.19	0.00	0.00
18.62	90	0.00	9.24	1.85

Tabla 17. Resultados acciones embarcaciones de 10m de eslora. Fuente: TYPESA

Parámetros		Envolvente Cargas medias tiro horizontal (Qmedia)		Envolvente Cargas máximas tiro horizontal (Qmax=2,0*Qmedia)	
Velocidad	Dirección del viento	ACCIONES EN EL TREN FONDEO	ACCIONES EN EL PANTALAN	ACCIONES EN EL TREN FONDEO	ACCIONES EN EL PANTALAN
Vv(m/s)	DDv(grados)	FL1 (kN)	FL2=FL3 (kN)	FL1 (kN)	FL2=FL3 (kN)
18.62	0	2.19	1.26	4.38	2.53
18.62	90	0.00	19.78	0.00	39.56

Tabla 18. Acciones en tren de fondeo y pantalán. Embarcaciones de 10m de eslora. Fuente: TYPESA

5.2.5. Embarcaciones de L= 12m (nueva dársena exterior)

Se considera un valor de manga de 4,00m

Vv(m/s)	DDv(grados)	FL_Total(kN)	FT_Total(kN)	MCG_Total(kN*m)
18.62	0	2.76	0.00	0.00
18.62	90	0.00	12.05	2.89

Tabla 19. Resultados acciones embarcaciones de 12m de eslora en muelle Sa Roqueta Este. Fuente: TYPESA

Parámetros		Envolvente Cargas medias tiro horizontal (Qmedia)		Envolvente Cargas máximas tiro horizontal (Qmax=2,0*Qmedia)	
Velocidad	Dirección del viento	ACCIONES EN EL TREN FONDEO	ACCIONES EN EL PANTALAN	ACCIONES EN EL TREN FONDEO	ACCIONES EN EL PANTALAN
Vv(m/s)	DDv(grados)	FL1 (kN)	FL2=FL3 (kN)	FL1 (kN)	FL2=FL3 (kN)
18.62	0	2.76	1.60	5.53	3.19
18.62	90	0.00	25.76	0.00	51.52

Tabla 20. Acciones en tren de fondeo y pantalán. Embarcaciones de 12m de eslora en muelle Sa Roqueta Este. Fuente: TYPESA

6. Cornamusas en pantalanes y muelles

El dimensionamiento del tiro de las cornamusas en los pantalanes se establece a partir de los resultados obtenidos en el apartado anterior.

Tal y como se indicó al principio del documento, para la determinación de las cornamusas necesarias en los pantalanes 1 a 7 y muelles de la dársena interior, se adopta el tiro correspondiente a una embarcación de 8 metros de eslora, que representa la mayor eslora prevista para el amarre en esta zona. En el caso del pantalán 8, se considera el tiro correspondiente a una embarcación de 12m de eslora. De esta manera, garantiza que cualquier atraque pueda ser utilizado por dicha embarcación sin restricciones.

En la nueva dársena, así como en el muelle de combustible y el varadero, se opta por cornamusas dimensionadas para una embarcación de 12 metros de eslora, que constituye igualmente la embarcación más grande que se prevé amarre en estas instalaciones.

■ Dársena interior

En base a los resultados obtenidos, la mayor acción que solicita las cornamusas en la dársena interior es la correspondiente a la dirección transversal del viento sobre una embarcación de 8m para los pantalanes 1 a 7. En el caso del pantalán 8 se considera la acción que solicita a la embarcación tipo de 12m.

Cuando el viento sopla transversalmente a las embarcaciones la cornamusa estará solicitada por una de las embarcaciones que amarran a ella. En caso de que el viento sople en sentido contrario, la cornamusa estará solicitada por la embarcación contigua.

Pantalanes 1 a 7: El valor mayorado de la acción es 18,56kN y la cornamusa correspondiente es de 2,5t.

FL2=FL3 (kN)	Cornamusas en dársena interior
18,56	2,5t

Tabla 21. Cornamusa en dársena interior. Pantalanes 1 a 7. Fuente: TYPESA

Pantalán 8: El valor mayorado de la acción es 51,52kN y la cornamusa correspondiente es de 5t.

FL2=FL3 (kN)	Cornamusas en dársena interior
51,52	5t

Tabla 22. Cornamusa en dársena interior. Pantalán 8. Fuente: TYPESA

■ Nueva Dársena, muelle de combustibles y varadero

En cuanto a la nueva dársena:

Pantalanes 9 y 10: La mayor acción es la correspondiente igualmente a la acción transversal del viento sobre una embarcación de 12m.

El valor mayorado de la acción es 51,52 y, por tanto, la cornamusa que le corresponde de 5t.

FL2=FL3 (kN)	Cornamusas en dársena interior, muelle de combustibles y varadero
51,52	5t

Tabla 23. Cornamusa en pantalanes 9 y 10 de la nueva dársena, muelle de combustibles y varadero. Fuente: TYPESA

Pantalán 11: La mayor acción es la correspondiente igualmente a la acción transversal del viento sobre una embarcación de 10m.

El valor mayorado de la acción es 39,56 y, por tanto, la cornamusa que le corresponde de 5t.

FL2=FL3 (kN)	Cornamusas en dársena interior
39,56	5t

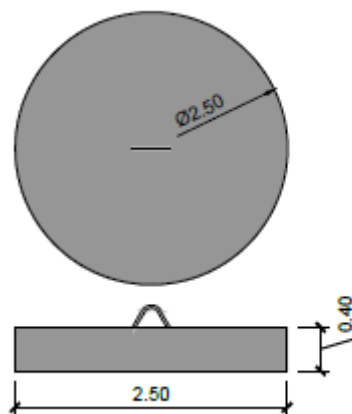
Tabla 24. Cornamusa en pantalán 11 de la nueva dársena. Fuente: TYPESA

7. Tren de fondeo

7.1. Peso muerto

Se propone el siguiente lastre tipo para el tren de fondeo de amarre.

- Lastre de planta circular
- Diámetro: 2,00 ó 2,50 m
- Espesor: variable según el caso, en m



Como referencia se muestran otras dimensiones estándar de lastres típicos de hormigón (fuente: catálogo ITP)

Dimensiones estándar:

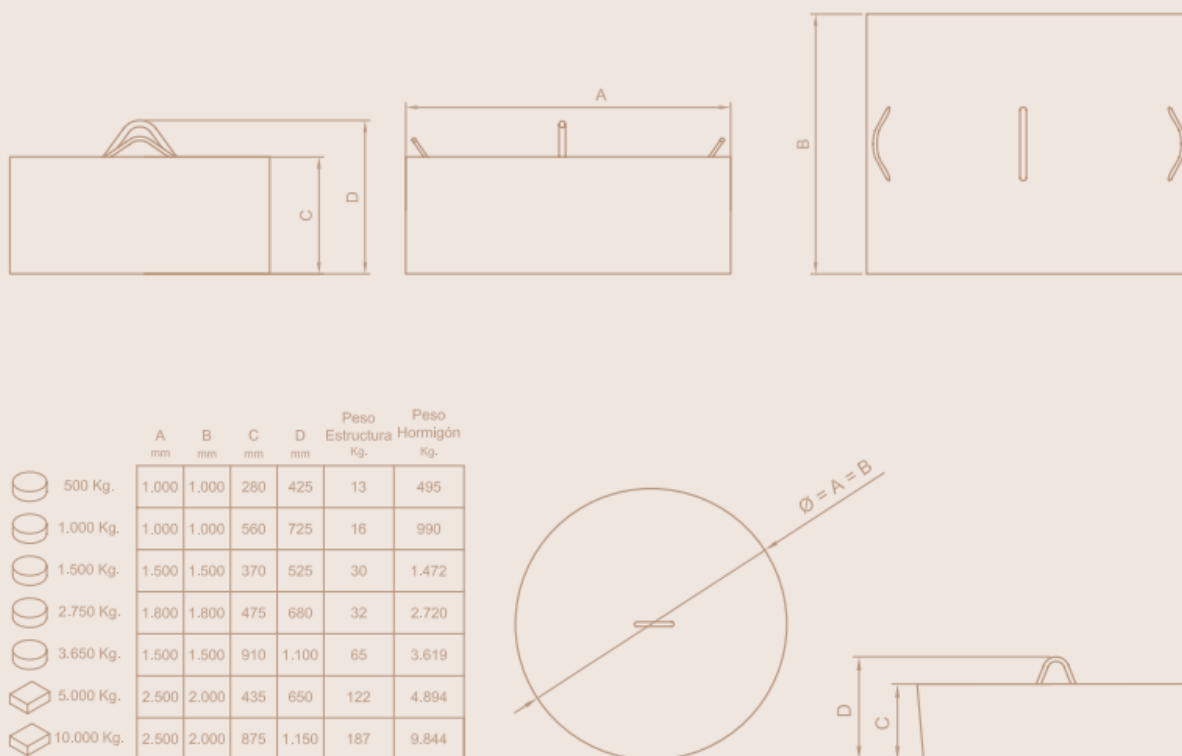


Imagen 9. Dimensiones estándar lastres hormigón. Fuente: catálogo ITP

El muerto de hormigón debe ser capaz de ser estable frente al tiro generado por los amarres de punta. Se estudia la situación pésima en la que el pantalán está al 100% de su ocupación, es decir, con todos los amarres ocupados.

Se comprueba la estabilidad del muerto frente al modo de fallo de deslizamiento. Los datos de partida son los siguientes:

- Coeficiente de seguridad frente a deslizamiento: 1,30
- Ángulo interno en reposo de las arenas: $\phi = 30^\circ$
- Coeficiente de rozamiento: $\mu = \tan(\phi)$ (ROM 5.0-05 Cimentaciones prefabricadas).
- Peso específico de hormigón: 23,50 (kN/m³)
- Peso específico de agua: 10,25 (kN/m³)

En la siguiente tabla se justifica el peso del lastre y el número de embarcaciones amarradas al tren de fondeo.

LOCALIZACIÓN	Embarcación tipo. Eslora (m)	Tiro horizontal (kN)	Coef. mayoración cargas	nº embarcaciones / Muerto	Peso sumergido del muerto requerido (kN)	Peso seco del muerto (kN) de cálculo
DÁRSENA INTERIOR	6,00	2.35	1,50	2.00	25.20	43.98
	8,00	3.10	1,50	1.50	24.87	43.41
	12,00	5.26	1.50	1.50	42.31	73.85
DÁRSENA EXTERIOR	10,00	4.38	1.50	1.50	35.16	61.37
	12,00	5.53	1.50	1.50	44.42	77.53

Tabla 25. Peso muerto. Fuente: TYPESA

LOCALIZACIÓN	Embarcación tipo. Eslora (m)	Peso considerado (kN)	Volumen de hormigón (m3)	Diámetro (m)	Espesor (m)
DÁRSENA INTERIOR	6,00	45.00	1.88	2.00	0.60
	8,00	45.00	1.88	2.00	0.60
	12,00	77.00	3.21	2.50	0.65
DÁRSENA EXTERIOR	10,00	62.00	2.58	2.50	0.53
	12,00	77.00	3.21	2.50	0.65

Tabla 26. Dimensiones muerto. Fuente: TYPESA

Pantalán/Muelle	L (m)	L(m) cons.	nº emb.	nº muertos	Peso seco (KN)	Volumen (m3)	Diámetro (m)	Espesor (m)	Volumen total (m3)
Pantalán 1B	7.00	8,00	17.00	12	45.00	1.88	2.00	0.60	21.25
Pantalán 2B	6.00		5.00	3	45.00	1.88	2.00	0.60	4.69
Pantalán 3A	8.00		20.00	14	45.00	1.88	2.00	0.60	25.00
Pantalán 3B-4A	8.00		25.00	17	45.00	1.88	2.00	0.60	31.25
Pantalán 4B-5A	7.00	8,00	25.00	17	45.00	1.88	2.00	0.60	31.25
Pantalán 5B-6A	6.00		23.00	12	45.00	1.88	2.00	0.60	21.56
Pantalán 6B-7A	5.00	6,00	19.00	10	45.00	1.88	2.00	0.60	17.81
Pantalán 8B	12.00		15.00	10	77.00	3.21	2.50	0.65	32.08
Pantalán 9A	12.00		8.00	6	77.00	3.21	2.50	0.65	17.11
Pantalán 9B-10A	10.00		9.00	6	62.00	2.58	2.50	0.53	15.50
Pantalán 10B-11A	9.00	10,00	15.00	10	62.00	2.58	2.50	0.53	25.83
Total									243.34

Tabla 27. Distribución de muertos por pantalán. Fuente: TYPESA

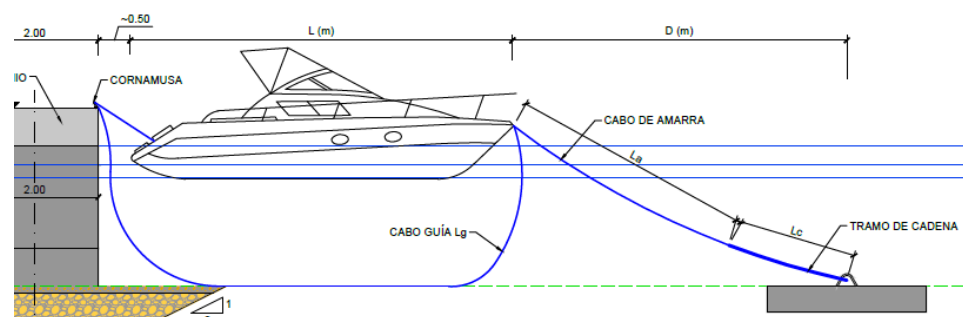


Imagen 10. Esquema amarre a tren de fondeo.

7.2. Cadenas y cabos

Las embarcaciones amarradas en la dársena interior y nueva dársena lo harán por punta al muerto directamente o a la cadena madre. En el caso de embarcaciones de menos de 12 metros de eslora, es técnicamente viable, incluso práctico, que se amarren directamente a la cadena madre, siempre que se cumplan ciertas condiciones de seguridad.

Para dimensionar la cadena y los cabos de amarre del tren de fondeo es preciso conocer la carga de rotura de cadenas y cabo. La relación entre esta carga de rotura y la carga máxima del tiro de amarre se establece entre 3 y 5 veces el tiro máximo para tener en cuenta los efectos de fatiga y golpeo (OCIMF, IALA fondeo).

Para determinar el tipo de cadena, cabo y cadena guía se consulta la tabla siguiente editada por Equiport.

ESLORA	CADENA		CABO			
	Ø mm.	Carga rotura Kg.	Ømm cabo A/T	Carga rotura Kg.	Ø mm guía	Carga rotura Kg.
30*	22	25.000	34	17.400	16	4.155
25*	20	20.000	30	13.718	14	3.225
20*	20	20.000	28	12.033	14	3.225
15	16	12.500	20	6.380	12	2.270
12	14	9.200	16	4.155	10	1.590
10	12	7.000	14	3.225	10	1.590
8	12	7.000	14	3.225	10	1.590
6	12	7.000	12	2.270	-	-

Imagen 11. Esquema amarre a tren de fondeo.

A continuación se incluyen los resultados obtenidos:

L (m)	Tension (kN)	Coef	Carga rotura mín. MBL (kN)	Kg	Diám. cadena (mm)	CADENA: Carga rotura mínima MBL (kg) considerada	Diám. cabo (mm)	CABO: Carga rotura mínima MBL (kg) considerada	Diám. guía (mm)	GUÍA: Carga rotura mínima MBL (kg) considerada
6.00	2.35	5.00	11.76	1,198.47	12.00	7,000.00	14.00	2,270.00	10.00	1,590.00
8.00	3.10	5.00	15.48	1,577.48	12.00	7,000.00	14.00	3,225.00	10.00	1,590.00
12.00	5.26	5.00	26.32	2,683.27	12.00	7,000.00	14.00	3,225.00	10.00	1,590.00
10.00	4.38	5.00	21.88	2,229.87	12.00	7,000.00	14.00	3,225.00	10.00	1,590.00
12.00	5.53	5.00	27.64	2,817.22	12.00	7,000.00	14.00	3,225.00	10.00	1,590.00

Tabla 28. Dimensionamiento cadenas y cabo. Fuente: TYPESA

Imagen 12. Tren de fondeo dársena interior. Fuente: elaboración propia.

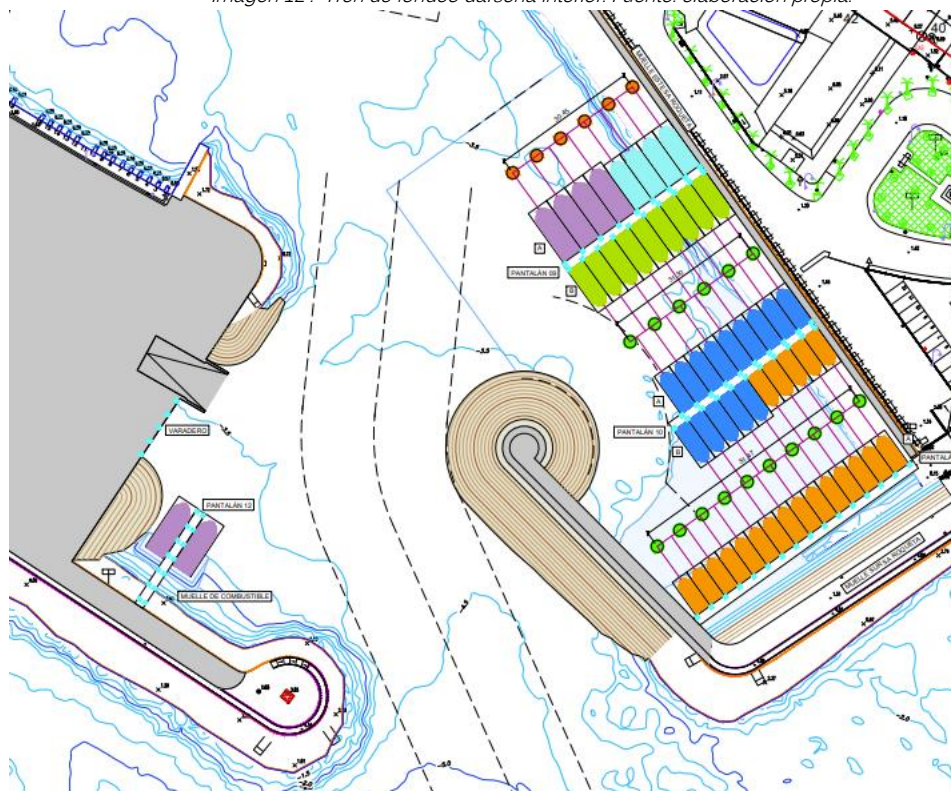


Imagen 13. Tren de fondeo nueva dársena. Fuente: elaboración propia.