

Anejo nº12

Cálculos

Proyecto básico de nuevos amarres en el puerto de Cullera (Valencia)

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DEL PANTALÁN	5
2.1. CONSIDERACIONES PREVIAS	5
2.1.1. Flota tipo.....	5
2.1.2. Características y dimensiones de las obras de atraque y amarre	5
2.1.3. Sistema de atraque	6
2.1.4. Sistema de amarre.....	6
2.2. ACCIONES.....	7
2.2.1. Acciones debidas a los agentes del medio.....	7
2.2.2. Acciones debidas al uso y explotación	8
2.3. EQUIPAMIENTO DEL PANTALÁN	18
2.3.1. Elemento de atraque. Defensas laterales	18
2.3.2. Elementos de amarre	19
2.3.3. Bloques de servicio	19
2.3.4. Accesos. Pasarela articulada	19
3. CÁLCULOS DEL SISTEMA DE GUIADO. PILOTES.....	20
3.1. CONSIDERACIONES PREVIAS	20
3.1.1. Características del terreno	20
3.1.2. Sistema de anclaje del pantalán. Pilotes	20
3.2. ACCIONES SOBRE LOS PILOTES	21
3.3. HIPÓTESIS DE CARGA.....	21
3.3.1. Cálculo de esfuerzos	21
3.3.2. Combinación de acciones.....	22
3.4. DIMENSIONAMIENTO POR COMPROBACIÓN ESTRUCTURAL EN ELU	23
3.4.1. Dimensionamiento para esfuerzo flector	24
3.4.2. Dimensionamiento para esfuerzo cortante	25
3.5. COMPROBACIÓN GEOTÉCNICA (ELU DE TIPO GEOTÉCNICO).....	26
3.5.1. Verificación de la seguridad frente a la rotura horizontal del terreno	26
4. CONCLUSIONES.....	28

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente anejo es dimensionar la cimentación de las obras de atraque y amarre, así como los elementos que forman parte del equipamiento del mismo. Por otra parte, se comprueba si las infraestructuras son resistentes frente a los esfuerzos a los que se ven sometidas.

En un primer apartado se realizan los cálculos necesarios para la selección de los elementos que forman parte de los pantalanes en función de la flota tipo, el sistema de amarre y atraque propuestos, así como de las acciones que actúan.

En el segundo apartado se dimensiona el sistema de fijación de los pantalanes y se comprueba la resistencia estructural y geotécnica del mismo.

Finalmente, en el apartado de conclusiones se resumen las características de las obras de atraque y amarre dimensionadas.

2. CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DEL PANTALÁN

2.1. CONSIDERACIONES PREVIAS

2.1.1. Flota tipo

Las características de la flota previsible de embarcaciones son el principal factor que interviene en la definición y caracterización de los agentes de operaciones de buques, así como en el dimensionamiento de la obra de atraque y sus elementos.

Los parámetros representativos que se considerarán se muestran en la siguiente tabla:

Embarcaciones deportivas y de recreo a motor					
Parámetros geométricos ⁽¹⁾					Parámetros de situación de carga ⁽²⁾
Eslora total (L)	Eslora entre perpendiculares (L _{pp})	Manga (B)	Calado (D)	Francobordo (G)	Desplazamiento a plena carga (Δ_{PC})
6	5,7	2,1	1,0	-	1,3
9	8,6	2,7	1,5	-	4,0
12	11,4	3,4	1,8	1,6	6,5

(1) Los parámetros geométricos están expresados en metros.

(2) Los parámetros de situación de carga están expresados en kilonewtons.

Tabla 12.1. Parámetros representativos de la flota tipo. (Fuente: ROM 0.2-90)

2.1.2. Características y dimensiones de las obras de atraque y amarre

La solución adoptada para las nuevas infraestructuras de atraque y amarre consiste en cuatro pantalanes flotantes guiados por pilotes, con una longitud de 80 metros para dos de ellos y 100 metros para los otros dos, todos ellos con un ancho de 2,5 m.

El tipo de pantalán seleccionado es el *Sistema Atlantic*, modelo fabricado por la empresa Ingenierías Técnicas Portuarias, s.l. (ITP).

Se han elegido módulos estándar de dimensiones 10 x 2,5 metros equipados con dos flotadores de hormigón cada uno. Los flotadores que se encuentran aguas arriba de los pantalanes tendrán un parapeto deflector para evitar la acumulación de materiales arrastrados por la corriente.

2.1.3. Sistema de atraque

La solución adoptada para el atraque de las embarcaciones en las nuevas obras se fundamenta en que las embarcaciones no supongan un gran obstáculo al flujo de las aguas del río Júcar y que su afección sobre los buques sea la menor posible. Por ello, el atraque se realizará lateralmente al pantalán o a otras embarcaciones con la proa en dirección contraria a la corriente de las aguas del río.

2.1.4. Sistema de amarre

El modo de amarre de las embarcaciones que se ha elegido es el que recomienda la ROM 2.0-11 como el sistema estándar para atraques de costado en una obra continua con las consideraciones pertinentes para una obra flotante.

Según la ROM comentada, para embarcaciones deportivas o de recreo con esloras menores a 25 m se puede considerar el siguiente sistema y longitudes óptimas.

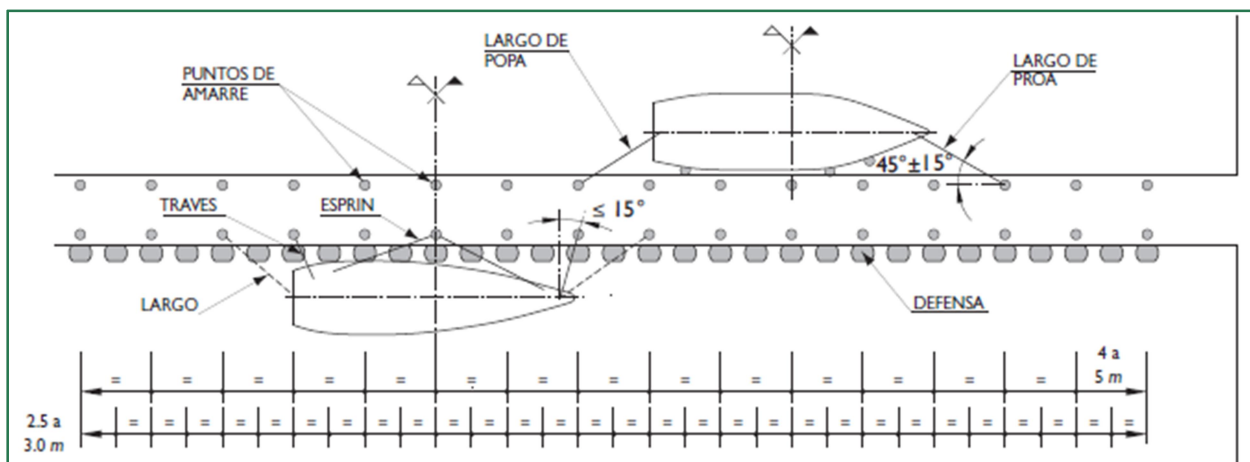


Figura 12.1. Disposición estándar del sistema de amarre para embarcaciones amarradas de costado con $L < 25$ m.
(Fuente: ROM 2.0-11)

Aunque la ROM propone prescindir de los largos, se opta por añadirlos en el sistema de amarre porque aportan mayor fijación de los buques a las obras de amarre cuando se den peores condiciones climáticas que las usuales.

Las longitudes óptimas propuestas por la ROM para cada tipo de cuerda son:

- Largos: 0,3 L
- Traveses: 0,4 B
- Esprines: 0,8 L

2.2. ACCIONES

2.2.1. Acciones debidas a los agentes del medio

Los agentes que pueden causar acciones sobre la estructura y buques son el viento y las corrientes del río, el resto de agentes no se consideran por no afectar significativamente.

En el caso del oleaje, como ya se vio en los anejos de clima marítimo y estudio hidráulico, no afecta a la zona de emplazamiento de las obras.

De mismo modo, el agente térmico no se considera pues los elementos que quedan fuera del agua están formados por materiales que se comportan adecuadamente ante él. En cualquier caso se dispondrían juntas de dilatación, para las que la recomendación permite despreciar este efecto.

En cuanto al agente sísmico, según lo visto en el anejo geológico para la zona y tipo de estructura se puede no considerar los efectos de esta índole para los cálculos estructurales. Además de ello, la ROM 2.0-11 establece que, en general, sobre las obras de atraque y amarre flotantes no se consideran las acciones sísmicas, excepto en caso de maremotos asociados a condiciones excepcionales, que no se estudian en este documento.

Para obras flotantes, el agente predominante suele ser el viento. En condiciones normales de operación, los límites de operatividad relevantes suelen estar asociados con el viento y, en su caso, con la velocidad de la corriente, no siendo general los niveles de agua causa de limitación de las condiciones de explotación.

Acciones debidas al viento

Para obras de atraque y amarre flotantes la acción del viento solicita a la estructura de forma directa y de forma indirecta mediante las acciones generadas sobre los buques amarrados. Como se verá más adelante, esta acción puede considerarse representada por una fuerza total, R_v , prácticamente estacionaria.

Acciones debidas a las corrientes

La acción de las corrientes sobre las estructuras de atraque y amarre se manifiesta de forma indirecta, actuando a través del buque durante sus labores de atraque o amarre, y de forma directa sobre la propia estructura.

Según lo recogido en la ROM 2.0-11 para obras de atraque flotantes la acción directa de la corriente es muy difícil de valorar analíticamente pues depende de muchos factores. En ausencia de resultados tabulados se aproxima por la formulación recomendada para el cálculo de fuerzas debidas a corrientes sobre buques equiparables.

Los cálculos para las acciones de la corriente sobre los buques se realizan en el subapartado siguiente.

Agentes del terreno

Para este agente se considera los efectos del terreno sobre los pilotes de las obras de atraque que servirán de dimensionamiento de los mismos. Su cálculo se realiza en apartados posteriores.

2.2.2. Acciones debidas al uso y explotación

Operaciones de los buques

Este agente está asociado con las acciones generadas por los buques en su navegación, maniobras o en la permanencia en la estructura.

Los principales factores que intervienen en la definición de estos agentes son las características de la flota tipo, la configuración geométrica del atraque, características del sistema de amarre y los agentes del medio físico en el emplazamiento.

- Acciones de atraque

Estas acciones dependen de la energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque y de la capacidad de absorción de energía por parte del sistema de atraque, el buque y el agua.

De acuerdo con lo establecido en la ROM 2.0-11 a los efectos de la consideración simplificada de las consecuencias dinámicas producidas por las acciones de atraque, estas se obtendrán a partir de la energía cinética desarrollada por los buques en el atraque en las condiciones más desfavorables establecidas para poder realizar las maniobras, así como de la capacidad de absorción de esa energía por parte del sistema de atraque.

Para el cálculo de la energía cinética se emplea el modelo analítico para un atraque en obras flotantes. En este tipo de obras las acciones se resisten mediante su transmisión a los sistemas de guiado fijos (pilotes). Por tanto, a efectos de determinación de la energía cinética del buque cedida, pueden considerarse que se comporta como una obra fija y le será de aplicación la formulación para ese tipo de obras en función del tipo de maniobra de aproximación del buque al atraque.

El atraque para pequeñas embarcaciones con poco desplazamiento, como es el caso de la flota tipo con la que se trata, se suele realizar de forma lateral por proa o popa mediante translación longitudinal preponderante. En este caso, no se puede realizar este tipo de atraque pues la configuración hace que se atraquen hasta tres embarcaciones abarloadas lo que supone un ángulo mayor a 15º de aproximación del buque al pantalán, frecuente en el atraque lateral por translación longitudinal.

Esta limitación geométrica hace que se adopte el atraque lateral mediante translación transversal preponderante.

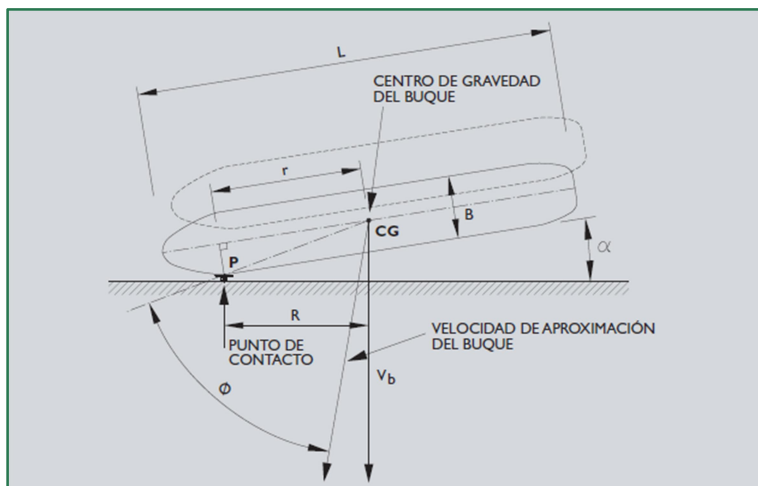


Figura 12.2. Atraque lateral o de costado mediante translación transversal preponderante a obras de atraque fijas continuas (Fuente: Figura 4.6.4.8 de la ROM 2.0-11)

La energía cinética cedida por el buque al sistema de amarre, E_f , para este tipo de atraque se determina mediante la expresión:

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

siendo:

E_b : Energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque (kN.m).

C_b : Coeficiente ($C_b = C_e C_g C_c C_s$) de atraque (adimensional).

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

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

Δ : Desplazamiento del buque en la condición de carga considerada (kN).

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

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).

α : 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).

Para la determinación de la energía cinética se han seguido las siguientes consideraciones recomendadas por la ROM 2.0-11:

- El desplazamiento, eslora y manga del buque se seleccionan de la tabla 3.4.2.3.5.1 de la ROM 0.2-90.
- Para buques de pequeño desplazamiento (<10.000 t) la maniobra de atraque suele producirse directamente bajo el control del buque presentándose velocidades en la dirección del movimiento, para condiciones normales, del orden de 0,4 a 0,9 m/s para atraque lateral mediante translación transversal preponderante.
- El coeficiente de excentricidad se obtiene mediante la siguiente expresión:

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

siendo:

K: Radio de giro del buque alrededor del eje vertical que pasa por su centro de gravedad. Se aproxima a la función $K = (0,19C_b + 0,11) \cdot L$, para:

C_b : Coeficiente de bloque del buque.

$$C_b = \frac{\Delta}{L_{pp} \cdot B \cdot D \cdot \gamma_w}$$

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 (α).

ϕ : 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.

A falta de datos, las magnitudes R y ϕ pueden determinarse mediante las siguientes expresiones:

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

$$\phi = 90^\circ - \alpha - \arctan(B/2r)$$

Tomando como valores frecuentes para r y α los siguientes, dependiendo de las características del buque:

α : 10 – 15° para buques con $\Delta < 70.000$ t (Los valores mayores del rango se adoptarán cuando la maniobra sea sin ayuda de remolcadores).

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

- El coeficiente geométrico del buque, C_g , se considera igual a 1, valor recomendado para cuando el punto de impacto se produce en la parte plana del casco de la embarcación.

- El coeficiente de configuración del atraque, C_c , se toma como 1 pues la tipología estructura de la obra de atraque es abierta.

Teniendo en cuenta que en los nuevos pantalanes se realizarán atraques buque a buque se consideran las siguientes modificaciones a la formulación de atraque lateral mediante translación transversal preponderante.

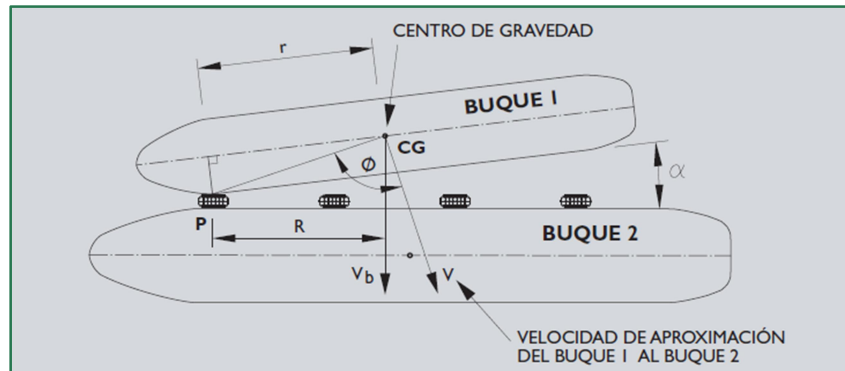


Figura 12.3. Atraque buque a buque (Fuente: Figura 4.6.4.13 de la ROM 2.0-11)

- El valor nominal del coeficiente de masa hidrodinámica se determina por medio de la siguiente expresión:

$$C_m = \frac{C_{m,1} C_{m,2} \Delta_2}{C_{m,1} \Delta_1 + C_{m,2} \Delta_2}$$

siendo:

Δ_1 : Desplazamiento del buque que atraca.

Δ_2 : Desplazamiento del buque sobre el que se atraca.

$C_{m,1}$: Coeficiente de masa hidrodinámica correspondiente al buque que atraca, obtenido de la interpolación lineal de los valores convencionales 1,5 y 1,8, en función del resguardo bruto y el calado estático del buque.

$C_{m,2}$: Coeficiente de masa hidrodinámica correspondiente a la estación de transferencia, obtenido del mismo modo que el anterior.

Se consideran los valores de las interpolaciones para el caso en que el atraque es a la obra pues se obtienen valores más desfavorables que para cualquier combinación de atraque buque a buque.

- El coeficiente de rigidez del sistema de atraque, C_s , se obtiene mediante la fórmula:

$$C_s = \frac{1}{1 + \Delta_1/\Delta_2}$$

Se considera 1 pues el cálculo de C_s para atraque buque a buque en cualquiera de las combinaciones es menor a la unidad y por tanto menos desfavorable.

A partir de los valores de la tabla 12.1 se obtienen los resultados, para la energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque y la energía cedida por el buque al sistema de atraque, que se muestran en la siguiente tabla.

L (m)	M_b (kN)	C_m	V_b (m/s)	α (°)	C_e	C_g	C_c	C_s	E_b (kN·m)	E_f (kN·m)
6	1,3	1,5	0,7	15	0,913	1	1	1	1,65	1,51
9	4,0	1,5	0,7	15	0,904	1	1	1	3,68	3,32
12	6,5	1,65	0,7	15	0,894	1	1	1	5,26	4,70

Tabla 12.2. Valores de los parámetros que intervienen en el cálculo de la acción de atraque de la flota tipo

- Acciones de amarre

Estas acciones son transmitidas por el buque a la obra de atraque y amarre durante su permanencia en la misma con movimientos restringidos por el sistema de amarre y defensas. Dicha transmisión se realiza de forma directa entre el buque y el sistema de atraque, y/o indirectamente a través de las líneas de amarre tensionadas.

Los agentes considerados que actúan sobre el buque amarrado son el viento y las corrientes fluviales.

En este caso no se siguen las recomendaciones de la ROM 2.0-11 pues las disposiciones que contempla son para buques son esloras mayores a 25 m. Por ello, los cálculos de este subapartado se basan en la formulación propuesta en la ROM 0.2-90.

En ella se especifica que para buques con desplazamientos inferiores a 400 t las cargas de amarre deberán ser calculadas según la metodología utilizada para buques con desplazamiento mayor de 20.000 t.

Viento

Según la ROM 0.2-90 los esfuerzos resultantes de las presiones del viento sobre los buques podrán ser discretizados en una fuerza horizontal en el sentido longitudinal del buque, otra en el sentido transversal, y un momento de eje vertical, todos ellos en el centro de gravedad del buque.

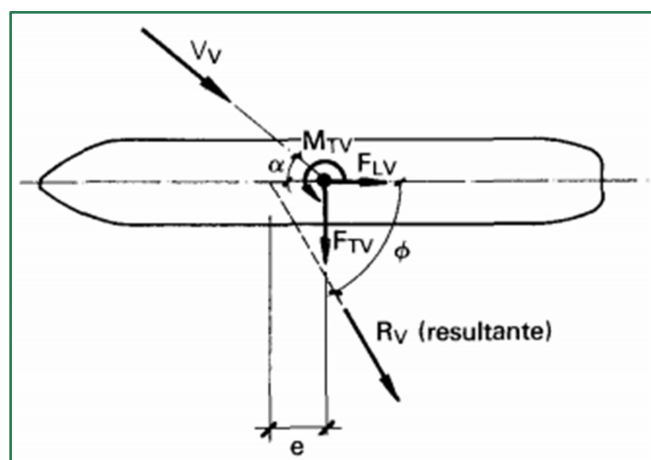


Figura 12.4. Esfuerzos resultantes de las presiones del viento sobre los buques. (Fuente: Tabla 3.4.2.3.5.9 de la ROM 0.2-90)

Su valor se determina mediante las siguientes expresiones.

$$R_V = \frac{\rho}{2g} \cdot C_V \cdot V_V^2 \cdot (A_T \cos^2 \alpha + A_L \sin^2 \alpha) - \frac{C_V \cdot V_V^2}{16.000} \cdot (A_T \cos^2 \alpha + A_L \sin^2 \alpha)$$

$$\tan \phi = \frac{A_L}{A_T} \cdot \tan \alpha$$

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

$$F_{TL} = R_V \cdot \cos \phi$$

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

siendo:

R_V : Fuerza resultante horizontal.

ϕ : Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante, en grados.

F_{TV} : Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante.

F_{TL} : Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante.

M_{TV} : Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque.

ρ : Peso específico del aire ($1,23 \cdot 10^{-3} \text{ t/m}^3$).

g : Aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$).

C_V : Factor de forma (adimensional). Puede variar entre 1,0 y 1,3.

A falta de una determinación más precisa mediante estudios en modelo, se adoptará el valor 1,3 para cualquier forma del buque y dirección de actuación del viento.

α : Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación del viento, en grados. Se considerará que el viento puede actuar en cualquier dirección.

V_V : Velocidad básica horizontal del viento de proyecto correspondiente a 10 m de altura, en m/s, supuesta constante para toda altura. Podrá adoptarse una velocidad media correspondiente a ráfagas de 15 segundos para buques de eslora menor de 25 m.

A falta de criterios de operatividad se adopta como velocidad límite de permanencia 23 m/s.

En los cálculos se tendrá en cuenta las dos direcciones del viento más desfavorables. En el *Anejo nº7: Clima atmosférico y marítimo* se obtuvieron tales direcciones.

A_T : Área de la proyección transversal del buque expuesta a la acción del viento, en m^2 .

A_L : Área de la proyección longitudinal del buque expuesta a la acción del viento, en m^2 .

A falta de valores conocidos dichas áreas podrán aproximarse mediante las expresiones siguientes:

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

$$A_L = L_{pp} \cdot (G + h_L)$$

siendo:

B: Manga del buque.

G: Francobordo del buque.

L_{pp} : Eslora entre perpendiculares del buque.

h_T : Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano transversal.

h_L : Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano longitudinal.

Los valores usuales de las anteriores variables se obtienen de las tablas 3.4.2.3.5.1 y 3.4.2.3.5.9.

K_e : Coeficiente de excentricidad (adimensional). A falta de datos específicos puede aproximarse a los valores indicados en la tabla 3.4.2.3.5.9 de la ROM 0.2-90. A plena carga el coeficiente tiene un valor de 0 para α igual a 0° y -0,02 para α igual a 90° .

En la siguiente tabla se muestran los valores de cada una de los parámetros definidos anteriormente, así como los esfuerzos obtenidos para el buque de mayores dimensiones de la flota tipo.

	Direcciones desfavorables	
	SW	SE
C_V	1,3	1,3
V_{v15s} (m/s)	23	23
B (m)	3,4	3,4
L_{pp} (m)	11,4	11,4
G (m)	1,6	1,6
h_T (m)	3,40	3,40
h_L (m)	2,40	2,40
α ($^\circ$)	90	0
ϕ ($^\circ$)	90	0
K_e	- 0,02	0
R_V (kN)	17,33	6,46
F_{TV} (kN)	17,33	0
F_{LV} (kN)	0	6,46
M_{TV} (m·kN)	- 4,16	0

Tabla 12.3. Esfuerzos resultantes de las presiones del viento sobre una embarcación deportiva a motor de $L = 12$ m.

Corrientes

La actuación de las corrientes del río sobre el buque amarrado a la estructura puede dar lugar a tres tipos de esfuerzos: fuerzas de presión, fuerzas de rozamiento y fuerzas inducidas por fenómenos de inestabilidad dinámica que dan lugar a oscilaciones laterales autoexcitadas.

Los esfuerzos resultantes de las fuerza de presión y fricción son discretizadas en una fuerza horizontal en el sentido longitudinal del buque, otra en sentido transversal, y un momento de eje vertical, aplicados en el centro de gravedad del buque.

- Fuerzas de presión

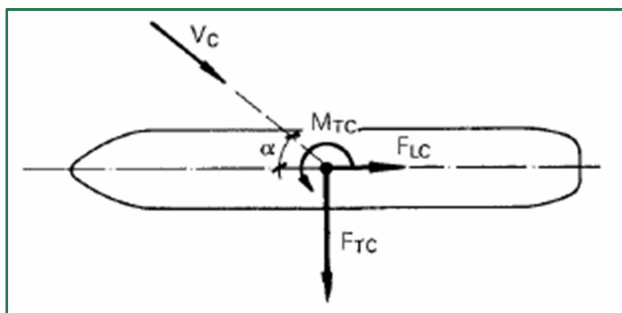


Figura 12.5. Esfuerzos resultantes de las presiones de las corrientes sobre los buques. (Fuente: Tabla 3.4.2.3.5.10 de la ROM 0.2-90)

Se obtienen mediante la siguiente formulación:

$$F_{TC} = \frac{\gamma_w}{2g} \cdot C_{TC} \cdot V_c^2 \cdot A_{LC} \cdot \sin \alpha$$

$$F_{LC} = \pm \frac{\gamma_w}{2g} \cdot C_{LC} \cdot V_c^2 \cdot A_{TC}$$

$$M_{TC} = F_{TC} \cdot K_{ec} \cdot L$$

siendo:

F_{TC} : Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante.

F_{LC} : Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante. Como simplificación se ha adoptado que la magnitud de la fuerza longitudinal es independiente del ángulo de actuación de la corriente, pudiendo tomar indistintamente el signo + o -. Se aplicará aquel signo que dé lugar a los efectos más desfavorables sobre la estructura.

M_{TC} : Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque.

γ_w : Peso específico del agua. (1,03 t/m³ (agua salada). Se ha considerado agua salada por ser más desfavorable, además de la presencia de la cuña salina por la proximidad del emplazamiento de la obra de atraque a la costa.

g: Aceleración de la gravedad (9,81 m/s²).

α : Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación de las corrientes en grados. La dirección de las corrientes queda restringida por la desembocadura del río y, puesto que los pantalanos se proyectan paralelos al eje del río, el ángulo que forman es 0.

V_C : Velocidad básica horizontal de la corriente de proyecto, correspondiente a una profundidad del 50% del calado del buque, en m/s, supuesta constante en toda su altura.

La determinación de los valores extrémos asociados a máximos riesgos admisibles se realizará según los criterios del apartado 3.4.2.4.

A falta de criterios de operatividad definidos se adoptará como velocidad límite de permanencia, sin la adopción de medidas reductoras por variación de la configuración del buque, la correspondiente a:

Corrientes longitudinales: $\alpha = 0^\circ$, $V_{C1min} = 2,5$ m/s (5 nudos)

C_{TC} : Factor de forma en sentido transversal (adimensional). Depende de la relación profundidad del agua/calado del buque de proyecto. La relación se establece según la gráfica siguiente:

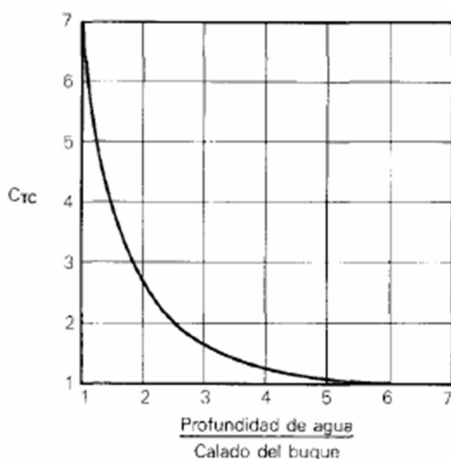


Figura 12.6. Factor de forma para cualquier forma de buque y dirección de corriente. (Fuente: ROM 0.2-90)

Teniendo en cuenta que la profundidad media del agua en el emplazamiento de los pantalanos es de 3 m y el calado máximo de la flota tipo, 1,8 m, se obtiene un coeficiente C_{TC} de 4.

C_{LC} : Factor de forma en sentido longitudinal (adimensional). Depende fundamentalmente de la geometría de la proa del buque. Puede variar entre 0,2 y 0,6. A falta de una determinación más precisa se adoptará el valor 0,6 para proa convencional.

A_{LC} : Área longitudinal sumergida del buque sometida a la acción de la corriente, en m^2 .

A_{TC} : Área transversal sumergida del buque sometida a la acción de la corriente, en m^2 .

A falta de valores conocidos, dichas áreas podrán aproximarse mediante las expresiones siguientes:

$$A_{LC} = L_{pp} \cdot D$$

$$A_{TC} = B \cdot D$$

Los valores usuales de estas dimensiones del buque de proyecto se obtienen a partir de la tabla 3.4.2.3.5.1 de la ROM 0.2-90.

$$L_{pp} = 11,4 \text{ m}$$

$$D = 1,8 \text{ m}$$

$$B = 3,4 \text{ m}$$

Introduciendo los datos en las expresiones anteriores se obtiene $A_{LC} = 20,52 \text{ m}^2$ y $A_{TC} = 6,12 \text{ m}^2$.

K_{ec} : Coeficiente de excentricidad (adimensional). Los valores del coeficiente de excentricidad podrán aproximarse a partir de la tabla 3.4.2.3.5.10 de la ROM 0.2-90. Para $\alpha = 0^\circ$ el coeficiente de excentricidad es 0.

L: Eslora del buque, en m. Se toma la eslora del buque de mayor tamaño de la flota tipo por ser más condicionante. En este caso son 12 m.

Finalmente, se obtienen para los esfuerzos resultantes de las fuerzas de presión y fricción los siguientes valores:

$F_{TC} \text{ (kN)}$	0
$F_{LC} \text{ (kN)}$	$\pm 11,82$
$M_{TC} \text{ (m·kN)}$	0

Tabla 12.4. Fuerzas de presión generadas por la corriente del río

- Fuerzas de rozamiento o fricción

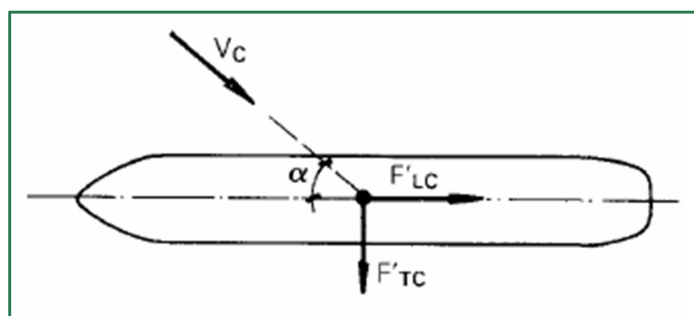


Figura 12.7. Esfuerzos resultantes de las fuerzas de fricción de las corrientes sobre los buques. (Fuente: Tabla 3.4.2.3.5.11 de la ROM 0.2-90)

Tales esfuerzos se obtienen a partir de las siguientes expresiones:

$$F'_{TC} = \frac{\gamma_w}{2g} \cdot C_r \cdot V_c^2 \cdot A'_{TC} \cdot \sin^2 \alpha$$

$$F'_{LC} = \frac{\gamma_w}{2g} \cdot C_r \cdot V_c^2 \cdot A'_{LC} \cdot \cos^2 \alpha$$

siendo:

F'_{TC} : Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante debida a la fricción.

F'_{LC} : Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante, debida a la fricción.

C_r : Coeficiente de Rozamiento (adimensional). Podrá adoptarse 0,004 para buques en servicio.

A'_{TC} : Área de la superficie del buque mojada transversalmente a la dirección de crujías, en m².

A'_{LC} : Área de la superficie del buque mojada longitudinalmente a la dirección de crujías, en m².

A falta de valores conocidos de dichas áreas podrán aproximarse mediante las expresiones siguientes:

$$A'_{TC} = (L_{pp} + 2D) \cdot B$$

$$A'_{LC} = (B + 2D) \cdot L_{pp}$$

Los valores de las dimensiones son los mismos que para el caso anterior. Se obtienen áreas de 51,00 m² y 79,80 m², respectivamente.

El resto de parámetros que intervienen en las expresiones tienen significados y valores coincidentes con los del anterior caso.

Por tanto, los esfuerzos resultantes de la fuerza de fricción originadas por las corrientes del río sobre el buque son:

F'_{TC} (kN)	0
F'_{LC} (kN)	1,03

Tabla 12.5. Fuerzas de rozamiento generadas por la corriente del río

Generalmente las fuerzas de rozamiento se desprecian, pero en este caso en que las corrientes actúan en dirección paralela al eje longitudinal del buque se deben tener en cuenta.

- Fuerzas inducidas por fenómenos de inestabilidad

Este tipo de fuerzas son importantes para buques amarrados en zonas con gran influencia de las corrientes de intensidad constante en magnitud y dirección sensiblemente paralela al eje longitudinal del buque, como es el caso de la desembocadura del río. A pesar de su importancia para el caso que se estudia no se obtienen pues estas fuerzas son difíciles de calcular, haciendo imprescindible su determinación mediante ensayos o mediciones sobre prototipo.

2.3. EQUIPAMIENTO DEL PANTALÁN

2.3.1. Elemento de atraque. Defensas laterales

En general, la elección de las defensas para muelles y pantalanés se basa en la energía cinética desarrollada por el buque durante las maniobras de atraque. Para el caso que se trata, pequeñas embarcaciones deportivas que generan poca energía resultando poco determinante en este sentido, la selección se realiza en función de la eslora y tonelaje de la embarcación de mayores características de la flota tipo.

Para ello, se consultan los catálogos de defensas y sistemas de protección que dispone la empresa INMARE en su web Marine and boat equipment INMARE.

Teniendo en cuenta que la eslora máxima de la flota tipo es de 12 m y su tonelaje asociado, según tablas de la ROM 0.2-90, es de 6,5 toneladas, se elige como defensa el sistema Max Fender.

Sus características se muestran en la siguiente tabla.

Modelo	Anchura (mm)	Altura (mm)	Longitud (mm)	Sistema de unión	Composición	Rango de temperaturas
MAX FENDER	140	175	730	Mediante tornillería de cabeza plana	Etilvinilacetato (EVA)	-40° a +60°

Tabla 12.6. Características del sistema de defensa. (Fuente: Marine and boat equipment INMARE, 2019)

Este modelo está diseñado para embarcaciones de hasta 18 metros de eslora y 40 toneladas.

2.3.2. Elementos de amarre

La elección del elemento de amarre más adecuado se realiza a partir de las acciones de amarre calculadas anteriormente. Estas acciones determinarán el tiro de bolardo al que está sometido el elemento como consecuencia de los agentes externos sobre el buque y las operaciones del mismo.

La acción del viento con dirección más desfavorable genera un esfuerzo de 17,33 kN, mientras que las corrientes producen una fuerza total en dirección del eje longitudinal de la embarcación de 12,85 kN.

La fuerza longitudinal en el eje de la embarcación provocará una tensión, principalmente en el largo de proa. Para obtener su valor aproximado se considera que el ángulo máximo que se da en un sistema de amarre estándar para amarre de costado. Ese ángulo es de 45°.

Por tanto, el tiro sobre el largo producido por la corriente es igual a 18,17 kN. Este valor sumado al de la acción del viento genera un tiro total de 35,5 kN, que equivale a 3,62 t.

En base al tiro obtenido se opta por la bita de fundición, en concreto, la que fabrica la empresa ITP. Se caracteriza por ser de fundición de aluminio EN 6776 que resiste fuerzas de tiro de hasta 5 toneladas.

2.3.3. Bloques de servicio

Los equipos elegidos para el suministro de agua, luz y datos a las embarcaciones atracadas en los pantanones son los fabricados por las empresas ITP de tamaño SPXL-M.

2.3.4. Accesos. Pasarela articulada

El acceso y salida de los pantanones se realiza mediante pasarelas articuladas conectadas con la margen del río mediante un macizo de anclaje. La articulación les permite adecuarse al cambio de nivel del río.

La longitud de la pasarela se obtiene a partir de la diferencia de niveles del agua y de la pendiente que forma con la horizontal. Según los resultados obtenidos en el anejo hidráulico la variación de niveles que se produce es entorno a un metro. Por otra parte, se limita la pendiente a 10° para evitar la incomodidad de los usuarios.

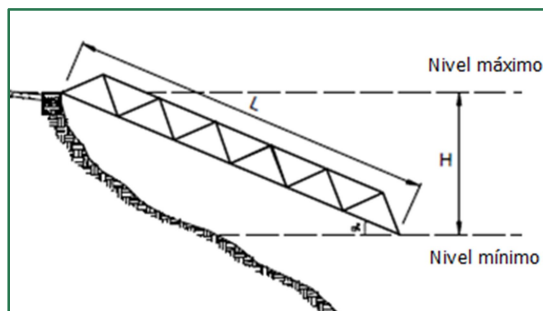


Figura 12.8. Esquema de parámetros que intervienen en el cálculo de la longitud de una pasarela

Para la situación anterior se obtiene una longitud de la pasarela de 6 metros.

El material del que están construidas es aluminio anodizado y su pavimento es de madera de alta resistencia. Disponen de barandilla del mismo material que la estructura, en ambos lados.

Las dimensiones de las pasarelas y de los macizos se detallan en los Planos nº 7.1 y 7.2. Sección tipo del Documento Nº2: Planos.

3. CÁLCULOS DEL SISTEMA DE GUIADO. PILOTES

3.1. CONSIDERACIONES PREVIAS

3.1.1. Características del terreno

Al igual que para el cálculo de cualquier tipo de cimentación es fundamental el conocimiento del terreno sobre el que se realiza.

El terreno y sus características han sido estudiados en el Anejo nº6. Estudio geológico y geotécnico, y a continuación, se muestran los principales estratos que se encuentran en el emplazamiento de las obras, así como sus características principales.

Estrato	Tipo de suelo	Parámetros resistentes	
		Largo plazo	
		C' (kPa)	ϕ' (°)
Nivel 0	Rellenos y terreno vegetal	-	-
Nivel A	Limos arenosos	0,0	27
Nivel B	Arenas limosas uniformes	0,0	31
Nivel C	Arcillas grisáceas	0,0	25
Nivel D	Arcillas margosas firmes	1,0	30
Nivel E	Arenas limosas cementadas	0,0	33

Tabla 12.7. Estratos y parámetros geotécnicos del terreno sobre el que se actúa

3.1.2. Sistema de anclaje del pantalán. Pilotes

La solución considera óptima para el sistema de anclaje de los pantalanes flotantes son los pilotes por presentar mejor comportamiento que las vigas o el sistema de bielas y cables tensores en casos con corrientes con caudales máximos.

La longitud del pilote sobre el que actúan las fuerzas horizontales se ha obtenido como suma de la parte enterrada en el terreno y más el nivel de agua máximo que se puede alcanzar.

Teniendo en cuenta que los pilotes se hincan 2 metros en el estrato D de arcillas firmes, la longitud enterrada es de 10,8 metros, y el nivel máximo del agua es de 5,5 metros.

Se ha considerado el nivel máximo que puede alcanzar el nivel de agua por ser la situación más desfavorable, pues el punto de aplicación de la carga está más alejado del extremo empotrado y por tanto produce mayores esfuerzos sobre el pilote.

Las anillas de unión de los pantalanes con los pilotes serán exteriores en el lado más próximo a la margen del río, donde no se realizan atraques. De este modo se libera el piso del pantalán de huecos y chapas, evitando la incomodidad del usuario.

3.2. ACCIONES SOBRE LOS PILOTES

Las acciones a las que se ven sometidos los pilotes son a las que le transmiten los módulos del pantalán como consecuencia de las operaciones de los buques, además de los agentes externos como el viento y las corrientes fluviales.

No se consideran cargas de componente vertical pues el peso propio del piso del pantalán y la sobrecarga de uso no afectan de forma significativa a los pilotes dado que se tratan de pilotes guía del pantalán flotante.

3.3. HIPÓTESIS DE CARGA

Se considera como hipótesis más desfavorable la situación en la que están actuando simultáneamente el viento con dirección SW (acción máxima) y las corrientes del río, con una ocupación del 100% para cada módulo de pantalán, es decir, tres buques amarrados, de dimensiones máximas de la flota tipo (12 metros).

Por tanto, la comprobación que se realiza es la resistencia del pilote sometido a una carga horizontal concentrada en su cabeza, H.

Los valores de la carga horizontal para cada agente actuante son:

- Viento de dirección SW (componente longitudinal) sobre 3 barcos de 12 m de eslora.

$$H_w = 3 \cdot 17,33 = 51,99 \text{ kN}$$

- Corriente fluvial (componente longitudinal) sobre 3 barcos de 12 m de eslora.

$$H_f = \pm 3 \cdot 11,82 = \pm 35,46 \text{ kN}$$

3.3.1. Cálculo de esfuerzos

A efectos de cálculos, se considera que el pilote se comporta como una viga simple en voladizo. Los esfuerzos resultantes para la sección más solicitada (empotramiento) para este tipo de vigas son:

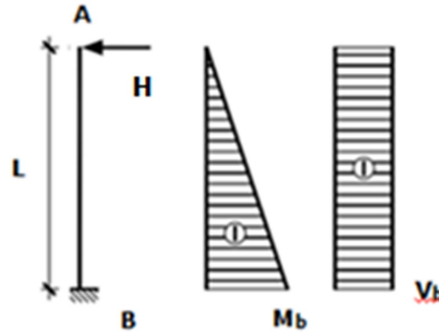


Figura 12.8. Esfuerzos para una viga simple en voladizo

- Viento

$$M_{w,b} = -H_w \cdot L = -51,99 \cdot 16,3 = 847,44 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$V_{w,b} = -H_w = -51,99 \text{ kN}$$

- Corriente

$$M_{f,b} = -H_f \cdot L = -(\pm 35,46) \cdot 16,3 = \pm 578,00 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$V_{f,b} = -H_f = \pm 35,46 \text{ kN}$$

3.3.2. Combinación de acciones

Para el dimensionamiento y las comprobaciones de la cimentación se realizan los cálculos de verificación de la seguridad frente a estado límite último (ELU) para la combinación de acciones fundamental en situación persistente o transitoria. De acuerdo a la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

donde:

$G_{k,j}$: Valor característico de las acciones permanentes.

$Q_{k,1}$: Valor característico de la acción variable determinante.

$\psi_{0,i} Q_{k,i}$: Valor representativo de combinación de las acciones variables que actúan simultáneamente con la acción variable determinante.

$\gamma_{G,j}$: Coeficiente parcial de seguridad para las acciones permanentes.

$\gamma_{Q,1}$: Coeficiente parcial de seguridad para la acción variable determinante.

$\gamma_{Q,i}$: Coeficiente parcial de seguridad para las acciones variables que actúan simultáneamente con la determinante.

$\psi_{0,i}$: Coeficiente de simultaneidad para las acciones variables.

En la siguiente tabla se muestran los valores de cada uno de los parámetros descritos. Los coeficientes parciales de seguridad y de simultaneidad se han seleccionado de las tablas proporcionadas en la ROM 0.2-90.

Acción	Tipo de acción	γ	ψ_0	
Viento sobre buque amarrado	Variable	1,5	Carga medioambiental	0,7
Corrientes fluviales sobre buque amarrado	Variable	1,5	Carga medioambiental	0,7

Tabla 12.8. Acciones y coeficientes que intervienen en la combinación

A continuación, se obtienen las posibles combinaciones suponiendo en cada caso una acción determinante u otra, de forma que se pueda conocer la situación más desfavorable y a partir de ella realizar el dimensionamiento de los pilotes.

No se considera el esfuerzo de signo negativo de la corriente por dar lugar a una combinación, manifiestamente, inferior al resto.

Combinación 1: Viento acción determinante

$$M = 1,5 \cdot (-847,44) + 1,5 \cdot 0,70 \cdot (-578,00) = -1.878,06 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$V = 1,5 \cdot (-51,99) + 1,5 \cdot 0,70 \cdot (-35,46) = -115,22 \text{ kN}$$

Combinación 2: Corriente acción determinante

$$M = 1,5 \cdot (-578,00) + 1,5 \cdot 0,70 \cdot (-847,44) = -1.716,64 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$V = 1,5 \cdot (-35,46) + 1,5 \cdot 0,70 \cdot (-51,99) = -107,78 \text{ kN}$$

Según los resultados obtenidos se establece la combinación 1 como la más desfavorable y por tanto sus esfuerzos asociados los considerados para el dimensionamiento.

3.4. DIMENSIONAMIENTO POR COMPROBACIÓN ESTRUCTURAL EN ELU

Según la EAE para que la sección resista los esfuerzos anteriormente obtenidos se tiene que cumplir las siguientes expresiones:

$$M_{ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$V_{ed} \leq V_{pl,Rd}$$

siendo:

M_{ed} : Esfuerzo flector de cálculo sobre la sección.

V_{ed} : Esfuerzo cortante de cálculo sobre la sección.

$M_{c,Rd}$: Resistencia a flexión de la sección.

$V_{pl,Rd}$: Resistencia a cortante de la sección.

3.4.1. Dimensionamiento para esfuerzo flector

En primer lugar, se considera el esfuerzo flector por ser más determinante en este tipo de elementos, en los que una de las dimensiones es mucho mayor a las otras dos.

Según el apartado 34.4 de la EAE el cálculo de la resistencia de la sección sometida a flexión depende de la clase de sección, que a su vez depende de las dimensiones de ésta. Se supone que la sección es de clase 1 (comportamiento plástico total de la sección) por resultar las expresiones de cálculo de la resistencia más sencillas, y posteriormente se comprueba que es así.

Por tanto, la expresión que recoge la EAE para el cálculo de la resistencia a flexión de una sección de clase 1 es:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd}$$

siendo:

W_{pl} : Módulo resistente plástico.

f_{yd} : Límite elástico de cálculo. Se obtiene según la relación:

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

donde:

f_y : Límite elástico del acero S355 J2G3. Su valor es 355 N/mm².

γ_{M0} : coeficiente de seguridad parcial para la resistencia del acero de la sección transversal. Según las tablas de la EAE toma un valor de 1,05.

Sustituyendo los valores conocidos en la expresión de cálculo de resistencia a flexión y despejando el término W_{pl} se obtiene:

$$W_{pl} = 1.878,06 \cdot 10^6 \cdot \frac{1,05}{355} = 555,48 \cdot 10^4 \text{ mm}^3 = 5.554,80 \text{ cm}^3$$

A continuación, se selecciona del Prontuario de productos siderúrgicos de la Unión de Almacenistas de Hierros de España (UAHE), un perfil hueco de sección circular cuyo valor de módulo resistente plástico se aproxime al obtenido.

El perfil elegido tiene las siguientes dimensiones:

Diámetro exterior D (mm)	Espesor T (mm)	Módulo de flexión plástico W_{pl} (cm ³)	Área A (cm ²)
610	16	5.647	299

Tabla 12.9. Dimensiones del perfil hueco seleccionado. (Fuente: Prontuario de productos siderúrgicos de la UAHE)

Por último, se comprueba que para la sección elegida se cumple la hipótesis de sección de clase 1. Para ello se emplea lo recogido en la EAE al respecto.

Según la instrucción una sección tubular sometida a flexión de clase 1 cumple la siguiente expresión:

$$d/t \leq 50\varepsilon^2$$

donde:

d: Diámetro exterior de la sección.

t: Espesor de la pared.

ε : Coeficiente que depende del límite elástico del acero y se obtiene según la fórmula:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

Sustituyendo los valores de la tabla 12.x se obtiene:

$$610/16 \leq 50\sqrt{235/355}^2$$

$$38,13 \leq 33,10 \text{ No Cumple}$$

Por tanto, la sección no es de clase 1. Se comprueba si la sección es de clase 2 para la que la formulación también es válida.

Las secciones de clase 2 cumplen la siguiente desigualdad:

$$d/t \leq 70\varepsilon^2$$

$$610/16 \leq 70\sqrt{235/355}^2$$

$$38,13 \leq 46,34 \text{ Cumple}$$

Finalmente, los cálculos de comprobación estructural para la sección dimensionada son válidos.

3.4.2. Dimensionamiento para esfuerzo cortante

A continuación, se comprueba si la sección del perfil elegido resiste frente a cortante. Para ello, en primer lugar se obtiene el cortante resistente mediante la formulación del apartado 34.5 de la EAE, y posteriormente se comprueba si es superior al cortante de cálculo.

Según la EAE para el criterio plástico la expresión para el cortante es la siguiente:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

siendo:

A_v : Área de cortante bruta. Para perfiles huecos circulares de espesor constante es igual a $2 \cdot A / \pi$, donde A es el área de la sección.

El resto de parámetros tienen el mismo valor que en la comprobación por flexión.

Sustituyendo los valores en la expresión anterior se obtiene el siguiente cortante:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{2 \cdot 29.900}{\pi} \frac{355}{1,05\sqrt{3}} = 3.715,61 \text{ kN}$$

Comparándolo con el cortante de cálculo obtenido anteriormente:

$$V_{ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$155,22 \text{ kN} \leq 3.715,61 \text{ kN} \text{ Cumple}$$

Finalmente, el perfil dimensionado resiste sobradamente los esfuerzos de cortante.

En la interacción entre ambos esfuerzos no se reduce el valor de la resistencia de cálculo a flexión pues se cumple que $V_{ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$, según apartado 34.7.1 de la EAE.

3.5. COMPROBACIÓN GEOTÉCNICA (ELU DE TIPO GEOTÉCNICO)

En la ROM 0.5-05 se establecen los distintos modos de fallo geotécnicos en muelles y pantalanes de pilotes. Estos son:

- Hundimiento o arranque de los pilotes
- Rotura horizontal del terreno
- Erosión del talud
- Deslizamiento superficial
- Equilibrio global
- Erosiones internas y arrastres
- Socavación

De los posibles modos de fallo sólo se comprobará la rotura horizontal del terreno. Pues el primero de ellos se produce por la aplicación de fuerzas verticales sobre la cabeza del pilote, que no actúan en este caso; el resto hacen referencia a los problemas que se pueden presentar en taludes, que no es de aplicación en este proyecto por no contemplarse su construcción, y el último de ellos que no se considera por no prever ninguna afección significativa de socavación.

3.5.1. Verificación de la seguridad frente a la rotura horizontal del terreno

Este tipo de fallo se da cuando el pilote es suficientemente resistente frente a los esfuerzos horizontales y por tanto, el límite de la carga depende del terreno, produciéndose la rotura de éste antes que el fallo estructural del pilote. Es el caso de pilotes poco empotrados o muy resistentes respecto a la propia resistencia lateral del terreno frente a empujes horizontales.

La comprobación de seguridad se da por correcta si cumple la siguiente desigualdad:

$$F = \frac{H_{rot}}{H} \geq F_{min}$$

donde:

F: Coeficiente de seguridad para un pilote individual.

H_{rot} : Carga horizontal que ha de aplicarse a la cabeza del pilote para provocar la rotura del terreno por empuje pasivo. Se obtiene mediante los ábacos de Broms para el caso particular de pilote hincado sobre suelo granular con sólo rozamiento interno.

En primer lugar se definen los parámetros e, L y D que se emplean en el ábaco.

e: Altura de aplicación del empuje H donde el momento flector en el eje del pilote es nulo, según lo comentado con anterioridad es igual a 5,5 m.

L: Longitud del pilote enterrada, como se ha comentado anteriormente es igual a 10,8 m.

D: Diámetro del pilote. El pilote seleccionado tiene un diámetro de 610 mm.

A continuación, se obtienen las relaciones con las que se entran en el ábaco.

$$L/D = 17,71$$

$$e/L = 0,51$$

Entrando con estos valores en el gráfico de Broms se obtiene que $\frac{H_{rot}}{\gamma' k_p D^3} \approx 100$

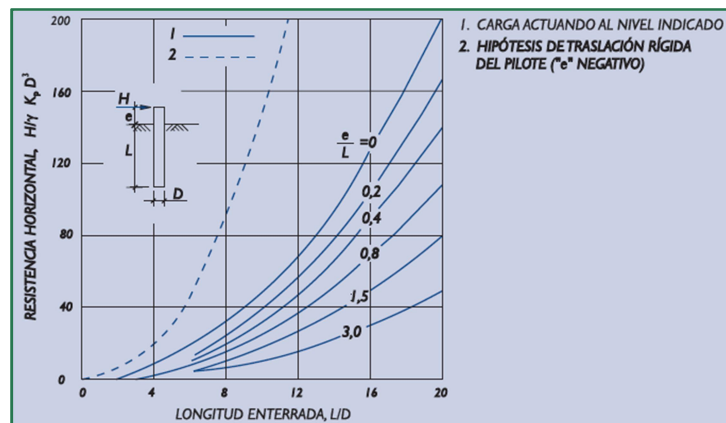


Figura 12.9. Rotura horizontal del terreno: suelos granulares (Broms). (Fuente: Figura 3.6.13 de la ROM 0.5-05)

Por tanto,

$$H_{rot} = 100 \cdot \gamma' \cdot k_p \cdot D^3$$

donde:

γ' : Densidad sumergida del suelo. Es igual a su densidad saturada menos la densidad del agua.

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 1,9 - 1,05 = 0,85 \text{ T/m}^3$$

La densidad saturada de los suelos limosos y arcillas varía entre 1,6 y 2,2 T/m³. Tomamos un valor intermedio que sea lo más representativo de las características de ambos.

k_p : Coeficiente de empuje pasivo. Para el caso que se considera, suelo con cohesión nula, la fórmula queda simplificada a:

$$k_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2) = 2,46$$

Se toma como valor de rozamiento interno el menor de los estratos en los que se encuentra el pilote ($\phi = 25^\circ$ para las arcillas flojas).

Sustituyendo los valores obtenidos en la expresión que proporciona el ábaco de Broms se obtiene un valor para la carga de rotura igual a 465,60 kN.

H: Carga horizontal actuante. Es calculada en la hipótesis de carga con un valor igual a 87,45 kN asociada a las acciones de amarre. Teniendo en cuenta que el coeficiente de mayoración es 1,5 se obtiene una carga horizontal total de 131,18 kN.

F_{min} : Coeficiente de seguridad. Para obras con ISA no significativo, como es el caso, la ROM 0.5-05 establece una serie de consideraciones que se deben aplicar. En base a ello se establece un coeficiente mínimo de seguridad igual a 3.

Finalmente, al sustituir los valores calculados se obtiene un coeficiente de seguridad para un pilote individual de 3,55.

$$F = \frac{465,60}{131,18} = 3,55 \geq 3 \text{ Cumple}$$

Por tanto, queda garantizado que no se produce el agotamiento de la capacidad resistente del conjunto terreno-pilote.

4. CONCLUSIONES

Las obras de atraque y amarre consistirán en pantalanés flotantes formados por 36 módulos de dimensiones 10 x 2,5 metros con dos flotadores cada uno, unidos por elastómeros y fijados a través de anillas exteriores a 34 pilotes de 18 m de longitud y 0,61 m de diámetro.

Los principales materiales de los que están formados los elementos de las obras son acero, madera y hormigón.