

Anejo 15. Cálculo y dimensionamiento del pantalán

Proyecto básico de ampliación del Puerto deportivo Poble Marí
(T.M. Puebla de Farnals, Valencia)

MAHIQUES PÉREZ, M^a Ángeles

Valencia, Junio de 2016



ÍNDICE

1. OBJETO	3
2. CARACTERÍSTICAS DEL PANTALÁN.....	4
2.1. Dimensionamiento en alzado.....	5
2.1.1. Nivel de coronación del atraque.....	5
2.1.2. Calado del atraque	5
3. DISPOSICIÓN DE LOS ATRAQUES.....	8
4. EQUIPAMIENTOS ESTRUCTURALES	9
4.1. Elementos de amarre	9
4.2. Defensas	11
5. DIMENSIONAMIENTO DEL PANTALÁN.....	12
5.1. Geometría del pantalán	12
5.2. Características de los materiales	13
5.3. Cargas permanentes	14
5.4. Cargas variables.....	15
6. COMPROBACIONES A REALIZAR.....	17
6.1. Verificación de la seguridad frente al deslizamiento.....	17
6.2. Verificación de la seguridad frente al hundimiento	18
6.3. Verificación de la seguridad frente al vuelco plástico	19
7. CONCLUSIONES	22



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Criterios para la determinación de niveles mínimos de coronación	5
Ilustración 2. Factores que inciden el cálculo del calado en la línea de atraque.....	6
Ilustración 3. Formulación simplificada para la estimación del calado del atraque a partir del nivel de referencia de las aguas exteriores adoptado.....	6
Ilustración 4. Bita dispuesta para amarre	9
Ilustración 5. Esquema de un muerto.....	10
Ilustración 6. Defensa del pantalán	11
Ilustración 7. Alzado del pantalán	12
Ilustración 8. Sección del pantalán.....	13
Ilustración 9. Velocidad básica escalar del viento en el litoral español.....	16
Ilustración 10. Comprobación del vuelco plástico.....	20



1. OBJETO

El objeto del presente anejo es dimensionar y seleccionar la disposición de los pantalanés que formarán parte de las nuevas obras de atraque y amarre del Puerto deportivo Poble Marina en la población de Puebla de Farnals.

Su objetivo final es conseguir una obra de atraque y amarre que responda a criterios de optimización funcional, económica y ambiental y que, en su conjunto, tramos y elementos satisfaga los requisitos de fiabilidad, aptitud al servicio y operatividad exigidos en cada una de las fases de proyecto.



2. CARACTERÍSTICAS DEL PANTALÁN

Para dimensionar los pantalanes, lo primero que se ha de tener en cuenta, es el emplazamiento dentro del puerto. En este caso se dimensionará el pantalán que se ubicará en la nueva dársena del puerto. Los datos de partida con referencia de amarres y flota tipo se encuentran recogidos en el “*Anejo 8. Estudio de demanda y determinación de la flota tipo*” y complementados en el “*Anejo 10. Estudio de soluciones en planta*”.

Lo que se busca en el dimensionamiento en planta es conseguir una distribución de amarres y unas dimensiones mínimas de la obra de atraque y amarre que permitan manipular los tráficos previsibles, en condiciones de seguridad, con los niveles de servicio y operatividad considerados.

Para dimensionar los pantalanes, se deberá tener en cuenta la orientación de éstos, en la que la acción de los agentes climáticos sea mínima sobre las embarcaciones. Por ello se recomienda que el eje longitudinal de las embarcaciones esté en la misma orientación que las acciones provocadas por los agentes climáticos. En este caso, el pantalán se encuentra dentro de una dársena suficientemente abrigada, por lo que no incide en gran medida lo dicho anteriormente y además no existen mareas o corrientes considerables que afecten a las embarcaciones en las aguas abrigadas. La orientación del pantalán será perpendicular a la costa, simplemente se escoge esta opción por aprovechamiento del espacio.

El puerto consta de varios pantalanes, al ser una obra múltiple, convendrá que se respete una única alineación para favorecer una óptima utilización de los equipos, siendo los pantalanes paralelos.

En el “*Anejo 8. Estudio de la demanda y determinación de la flota tipo*”, se busca en un principio dimensionar el pantalán dentro de la dársena para un total de 30 amarres.

Para la longitud total de la línea de atraque, puesto que vamos a proyectar los atraques en punta, dependerá de las mangas de las embarcaciones que vamos a amarrar y de los clearos que dejamos entre ellas y los fingers.

Se sabe que la longitud total del pantalán es 100 m, tras los cálculos realizados se obtiene que hay 15 embarcaciones por lado de pantalán con un total de 30 embarcaciones.

La anchura de los pantalanes existentes varía entre 3 m y uno de 7 m. El actual pantalán es de 2,4 m, formados por la unión de dos losas alveolares pretensadas de 1,2 m cada una.

Aunando las dos opciones anteriores y sabiendo que el pantalán estará constituido con un tablero apoyado sobre pilas, de losas alveolares pretensadas, se opta por un pantalán de 2,4 m de anchura, formado por dos losas, que vienen estandarizadas con un ancho de 1,2 m. Estas losas se dispondrán con una pendiente del 1% para que las aguas pluviales no afecten al deterioro de la estructura.



La ROM 2.0-11 anuncia que la anchura de las áreas de operación para usos deportivos oscilará generalmente entre 1,5 y 3 metros, siendo la escogida 2,4 m, admitiéndose solo los accesos peatonales y hasta 10 m en los otros casos, por lo que se encuentra dentro del umbral.

2.1. Dimensionamiento en alzado

El dimensionamiento en alzado deberá permitir el atraque y amarre de las embarcaciones y la carga y descarga de materiales y tripulación en condiciones de seguridad.

2.1.1. Nivel de coronación del atraque

La ROM 2.0-11. Anuncia en su *Tabla 3.2.2.1 "Criterios para la determinación de niveles mínimos de coronación de las obras de atraque fijas"*, aparecen los francobordos mínimos que han de dejarse en la obra de atraque para respetar ciertas condiciones de seguridad.

	NIVEL DE REFERENCIA DE LAS AGUAS EXTERIORES	USO DE LA OBRA DE ATRAQUE	FRANCOBORDO (EN M)
POR CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN	Nivel superior de la ventana de marea operativa ¹⁾	Uso comercial, industrial y militar	+ 1,50 – + 2,50 ³⁾
		Uso pesquero	+ 0,50 – + 1,00 ⁴⁾
		Uso náutico-deportivo	+ 0,15 – + 1,00 ⁵⁾
POR CONDICIONES DE NO REBASABILIDAD DE LAS AGUAS EXTERIORES	Nivel superior de la ventana extremal de las aguas exteriores ²⁾	Todos los usos	+ 0,50
POR CONDICIONES DE NO INUNDACIÓN POR LOS NIVELES FREÁTICOS EN EL TRASDÓS	Nivel superior de la ventana extremal de los niveles freáticos en el trasdós	Todos los usos	+ 0,50
Notas (1) Ventana operativa asociada a mareas (astronómica y meteorológica) y, en su caso, a regímenes fluviales. (2) Ventana extremal de las aguas exteriores, considerando todos los agentes que inciden en los niveles de las aguas exteriores en el emplazamiento (mareas, oleaje, ondas largas, ...). (3) Se tomará un francobordo de 1,5 m cuando el desplazamiento del mayor buque de la flota esperable en el atraque sea menor o igual a 10.000 t. Cuando dicho buque tenga un desplazamiento mayor se adoptará un francobordo de hasta 2,50 m. (4) Se tomará un francobordo de 0,50 m para embarcaciones de pequeña eslora (< 12 m). A su vez, es recomendable en estos casos que, desde el nivel inferior de la ventana de marea operativa, el francobordo resultante hasta el nivel de coronación no sea superior a 1,5 m. Cuando esto no sea posible será necesario adoptar una solución flotante. (5) Se tomará un francobordo de 0,15 m para embarcaciones de pequeña eslora (< 12 m). A su vez, es recomendable en estos casos que, desde el nivel inferior de la ventana de marea operativa, el francobordo resultante hasta el nivel de coronación no sea superior a 1,00 m. Cuando esto no sea posible será necesario adoptar una solución flotante.			

Ilustración 1. Criterios para la determinación de niveles mínimos de coronación

Se calculará la altura de la coronación de los francobordos que se indica en la *Ilustración 1*. Al estar en el mar Mediterráneo, cuya carrera de marea es pequeña, se dimensionará con la simplificación de que el nivel de aguas es constante.

2.1.2. Calado del atraque

El calado existente en los canales de accesos y demás áreas de flotación condicionan la accesibilidad y la salida de los buques. El calado del atraque (h_a) será como mínimo el que permita la permanencia de todos los buques de la flota esperable en el atraque en las situaciones de carga previstas, con un determinado nivel de operatividad. A estos efectos, se define como calado del atraque a la distancia entre el nivel del fondo marino y el nivel inferior de la ventana de marea operativa adoptada



para la permanencia de los buques en el atraque (nivel de referencia). Puesto que el puerto se enclava en el mar Mediterráneo, al igual que en el apartado precedente, no consideramos esa ventana operativa y dimensionamos el pantalán con un nivel de agua fijo. La ROM recoge:

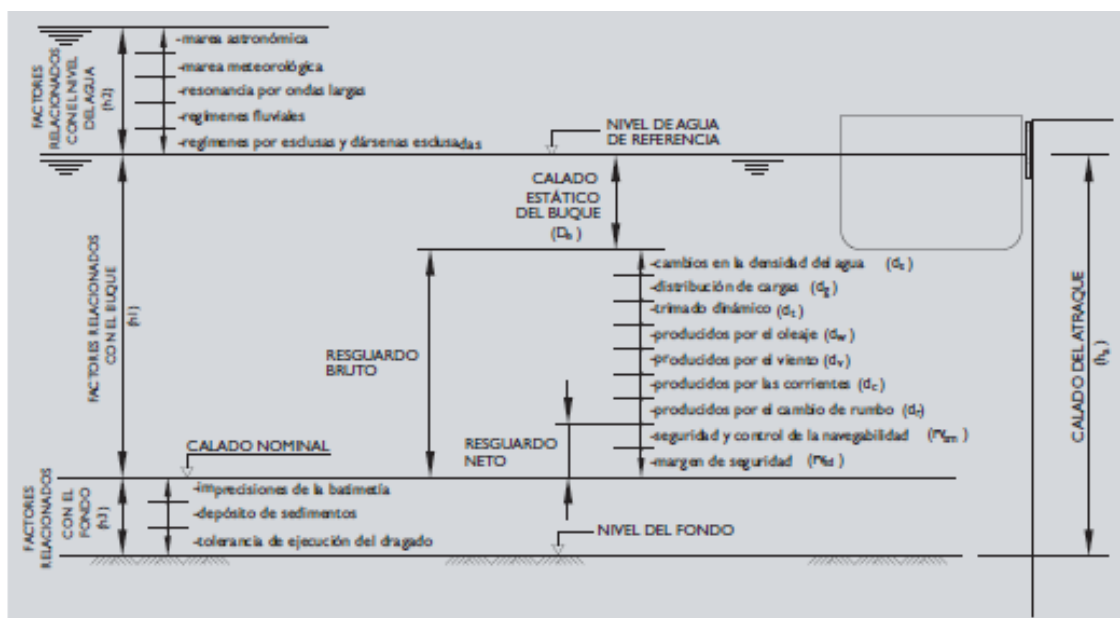


Ilustración 2. Factores que inciden el cálculo del calado en la línea de atraque

También se recoge:

	BUQUE DE CALADO MÁXIMO EN LA PEOR SITUACIÓN DE CARGA DE LA FLOTA ESPERABLE EN EL ATRAQUE	h_1 ²⁾	h_3
OBRAS DE ATRAQUE SITUADAS EN ÁREAS ABRIGADAS	Buques de gran desplazamiento (≥ 10.000 t)	$1,08 D_e$	1,00 m
	Buques de desplazamiento pequeño y mediano (< 10.000 t)	$1,05 D_e$	0,75 m
OBRAS DE ATRAQUE SITUADAS EN ÁREAS POCO ABRIGADAS	Buques de gran desplazamiento (≥ 10.000 t)	$1,12 D_e$	1,00 m
	Buques de desplazamiento pequeño y mediano (< 10.000 t)	$1,10 D_e$	0,75 m
Notas (1) Esta formulación tiene validez siempre y cuando los valores de compatibilidad de las variables climáticas en el emplazamiento compatibles con el nivel de referencia adoptado para las aguas exteriores (ventana de marea operativa o, en su caso, extraordinario) no den lugar a condiciones límite de permanencia del buque en el atraque clasificadas como Tipo III de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.49 de esta Recomendación. (2) En cualquier caso el resguardo bruto mínimo ($h_1 - D_e$) debe ser de 0,50 m para obras de atraque de uso comercial, industrial y militar y de 0,30 m para obras de atraque de uso pesquero y deportivo. No obstante lo anterior, cuando se prevean socavaciones importantes causadas por la acción de las hélices, del oleaje u otras causas, el resguardo bruto mínimo habrá de aumentar hasta 1,00 m. Si se colocan elementos de protección contra dichos efectos, éstos se situarán como mínimo a 0,75 m por debajo del nivel nominal del fondo.			

Ilustración 3. Formulación simplificada para la estimación del calado del atraque a partir del nivel de referencia de las aguas exteriores adoptado



Se concluye:

$$h_a = h_1 + h_3 = 1,05 * 3,3 + 0,75 = \mathbf{4,215\ m}$$

Siendo 3,3 m el calado de la embarcación mayor.

Puesto que éstas son recomendaciones y están formuladas principalmente para usos comerciales, vamos a dejar el calado en 4,7 m, uniforme con el calado en la bocana.



3. DISPOSICIÓN DE LOS ATRAQUES

Se ha llegado tras el cálculo realizado en anteriormente, a la conclusión de que la disposición de los atraques en la nueva dársena, será:

- 30 embarcaciones, en todo el nuevo pantalán de 24 m de eslora como máximo.

Estas embarcaciones se han calculado teniendo en cuenta que se dispone de muertos para amarrarlas de proa.



4. EQUIPAMIENTOS ESTRUCTURALES

Para completar los pantalanes, será necesario definir cada sistema de amarre, así como las propias defensas para no dañar la embarcación.

4.1. Elementos de amarre

Para retener las embarcaciones contra los pantalanes, se utilizan cabos que van desde la propia embarcación hasta los elementos de amarre que se disponen en los pantalanes capaces de resistir las fuerzas de tiro que se le exigen. Existen diversos elementos para cumplir esta función, y entre ellos encontramos la cornamusa, la bita, el bitón, las anillas o los bolardos.

Para el pantalán se ha optado por disponer bitas que resisten una fuerza de tiro de hasta 5000 kg.



Ilustración 4. Bita dispuesta para amarre

Para mantener el barco en posición fija y evitar los posibles movimientos laterales que estos puedan tener se colocarán muertos de proa. Estos contarán con una boya de amarre dónde se atará el cabo de fondeo del mismo barco. A continuación viene detallado el procedimiento de fondeo, con sus dimensiones adoptadas y un esquema explicativo.

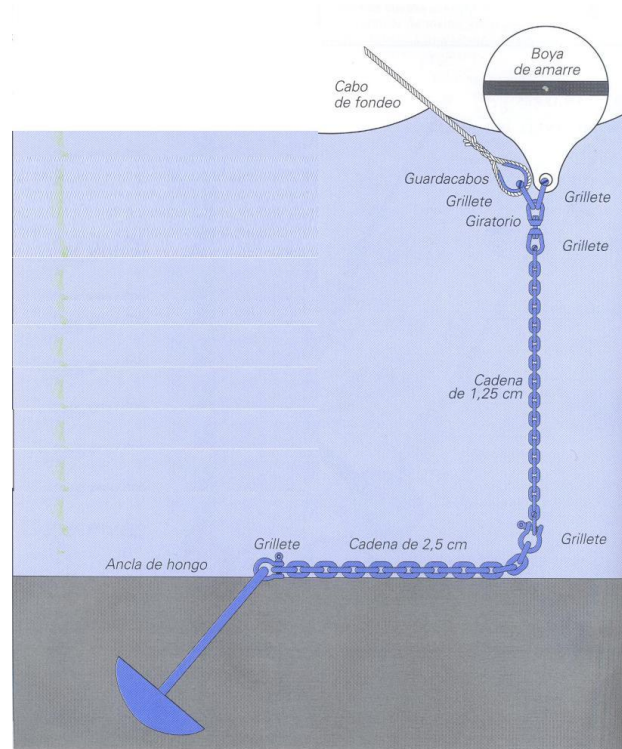


Ilustración 5. Esquema de un muerto

El programa de trabajos para fondear un muerto será el siguiente:

1. Se dispondrá de un peso (bidón, cubo, losa, etc.) igual a 7500 kg según las otras boyas de amarre de las que dispone el puerto.
2. Se dispondrá un tramo de cadena de 2,5 cm de grosor, unida al peso por medio de un grillete.
3. A continuación, le seguirá un segundo tramo de cadena de 1,25 cm de grosor, de una longitud igual a la profundidad del agua con marea alta, unido por un grillete a la cadena más pesada. Por lo tanto en este emplazamiento en cuestión, dicha cadena tendrá una longitud de 4,7 m.
4. Se colocará un giratorio, unido por grillete a la cadena de 1,25 cm. La longitud adicional de la cadena gruesa, actúa como amortiguador de impactos cuando el barco se pone a la capa. Sin el grillete giratorio, la cadena se retuerce y se acorta, reduciendo el efecto de amortiguación.
5. A continuación se unirá una boya de amarre directamente al giratorio con un grillete.
6. Uniremos la boya a un cabo de fondeo de nailon.



4.2. Defensas

Para la protección del pantalán frente a los posibles embistes que pudiera sufrir así como también a las embarcaciones, se colocarán defensas que absorberán la energía y protegerán tanto a la obra de atraque como a la propia embarcación, se dispondrán defensas en el borde de la línea de atraque.



Ilustración 6. Defensa del pantalán



5. DIMENSIONAMIENTO DEL PANTALÁN

Se realizarán los cálculos pertinentes para verificar proyectos dentro del “método de los estado límite”. Este procedimiento consiste en la simplificación de comprobar los distintos métodos de fallo o parada operativa en solamente aquellos estados límite que, desde el punto de vista del comportamiento resistente, de aptitud al servicio y de uso y se les denomina estados o situaciones de proyecto y están asociados con probabilidades de presentación en cada uno de los ciclos de sollicitación a los que está sometida la obra durante la fase de proyecto analizada.

5.1. Geometría del pantalán

Se adjunta el siguiente croquis a modo de definición geométrica:

- Alzado:

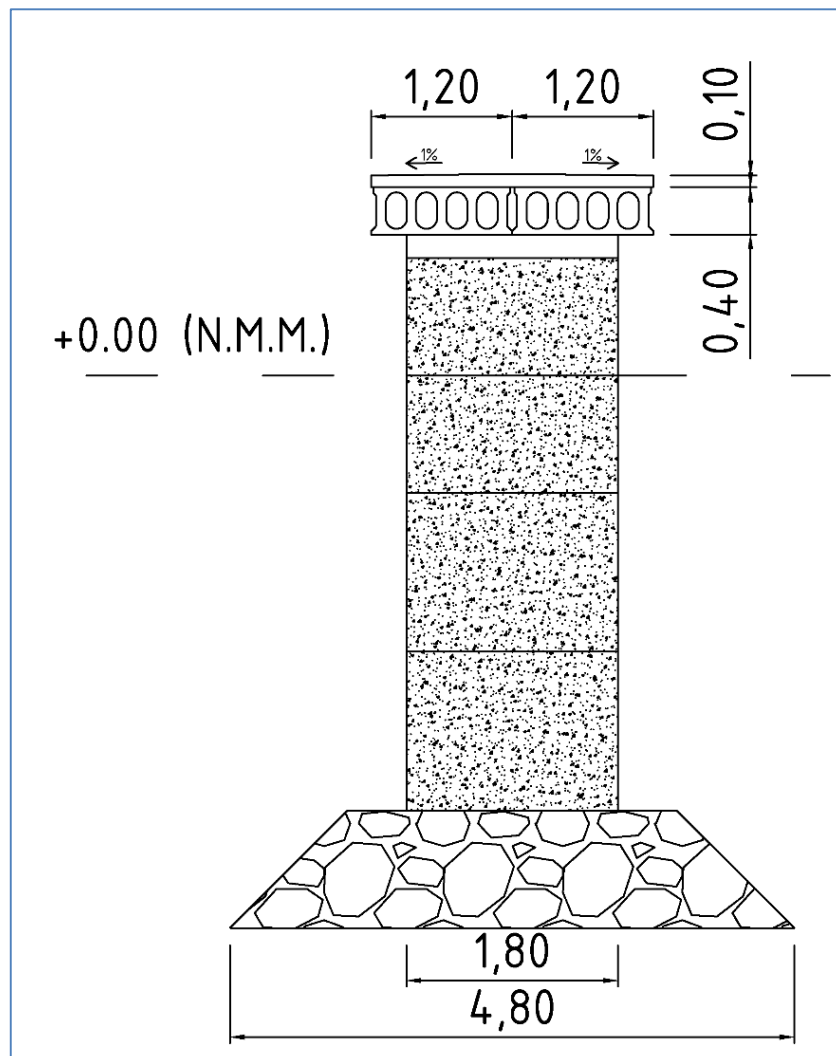


Ilustración 7. Alzado del pantalán



- Sección:

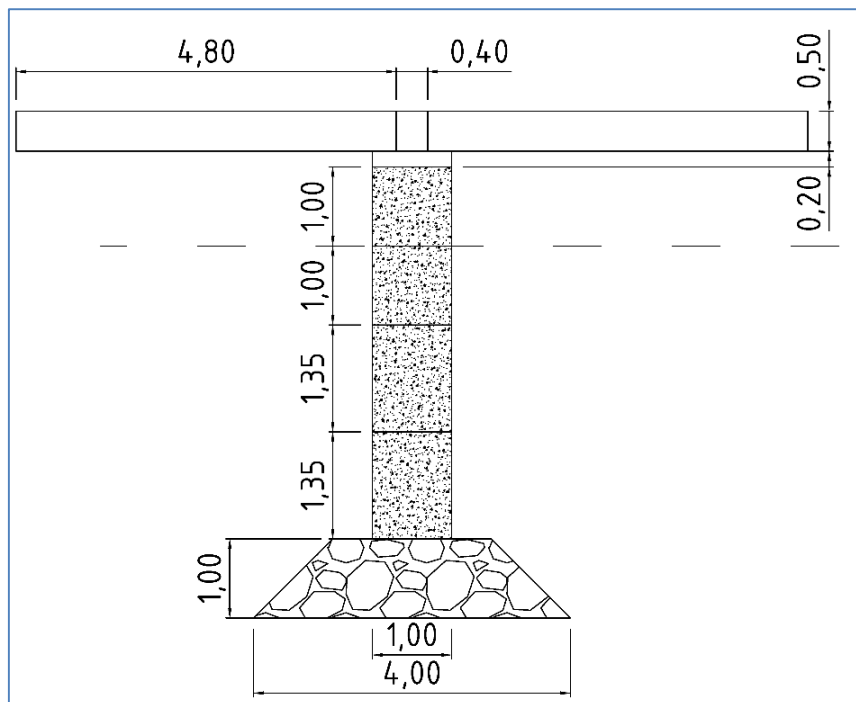


Ilustración 8. Sección del pantalán

5.2. Características de los materiales

La gran mayoría de las características de los materiales se han obtenido de la *Tabla 3.4.1.1.2 "Pesos específicos unitarios o aparentes, y porosidades usuales en elementos constructivos y estructurales"* de la ROM 0.2-90 "Recomendaciones de Acciones al proyectar una Obra Marítima y Portuaria" y también distintos apartados correspondientes a la ROM 0.5-05 "Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias".

- Terreno natural:
 - Angulo de rozamiento interno: $\phi=29^\circ$
 - Permeabilidad: $k=10^{-1}$ cm/s
- Hormigón:
 - Resistencia característica (fck): $f_{ck}= 30$ N/mm²
 - Ambiente:
 - Elementos sumergidos: IIIb + Qb
 - Elementos aéreos: IIIa
 - Tipo de cemento: SM-MR
 - Tipo hormigón: HP-35 ó HP-50
 - Tipo de acero: Y1860S7, 1670C e Y1860C
 - RF 60 a RF 180
 - Aislamiento a ruido aéreo: 53 a 70 dB
 - Peso específico:
 - Hormigón en masa: $\gamma_{HM} = 2,35$ t/m³
 - Hormigón armado: $\gamma_{HA} = 2,5$ t/m³
 - Hormigón sumergido: $\gamma_{HM}' = 1,3$ t/m³



- Escollera de la banqueta: Todo-uno
 - Peso específico seco: $\gamma_B = 2,00 \text{ t/m}$
 - Peso específico saturado: $\gamma_{Bsat} = 2,30 \text{ t/m}^3$
 - Peso específico sumergido: $\gamma_B' = 1,27 \text{ t/m}^3$
 - Peso: 50-100 kg
 - Ángulo de rozamiento interno: $\phi_B = 40^\circ$
- Ángulo de rozamiento hormigón-hormigón: $\delta_1 = 35^\circ$
- Ángulo de rozamiento hormigón-banqueta: $\delta_2 = 32^\circ$
- Coeficiente de rozamiento hormigón-hormigón: $\mu_1 = \text{tg}(\delta_1) = 0,70$
- Coeficiente de rozamiento hormigón-pedraplén de base: $\mu_2 = \text{tg}(\delta_2) = 0,625$
- Inclinación de la superficie del terreno: $\beta = 0$
- Inclinación del paramento del muelle: $\alpha = 90^\circ$

Los bloques de hormigón están armados mediante un mallazo de acero corrugado. Éste, se dispone, no por necesidad de cálculo, sino para amortiguar los posibles impactos que puedan recibir los bloques de hormigón y así conservar mejor el aspecto visual de los mismos. Sin embargo, para quedar del lado de la seguridad, se realizan los cálculos considerando que los bloques son de hormigón en masa.

Se colocarán losas alveolares pretensadas de 0,4 m de canto y con una capa de compresión que lleva embebida en el mallazo y las conducciones para los servicios.

Las pilas serán de bloques de hormigón y tendrán unas dimensiones en planta de 1*1,8 metros y una altura sobre banqueta de 4,7 metros.

5.3. Cargas permanentes

Son cargas, esencialmente gravitatorias, que actúan en todo momento durante la fase de proyecto que se analiza, siendo constantes en posición y magnitud, o no constantes de variación lenta o despreciable en comparación a su valor medio. Asimismo se considerarán cargas permanentes aquellas cuya variación tenga lugar en un solo sentido hasta alcanzar un cierto valor límite. Consideraremos:

- PESO PROPIO

- Pilas:

$$PP_{pilas} = 1 * 1,8 * 2 * 23,5 + 1,35 * 1,8 * 2 * 23,5 = 198,81 \text{ KN}$$

- Placa alveolar:

$$PP_{placa} = 5,2 * 1,2 * 9,6 = 59,9 \text{ KN}$$

- CARGAS MUERTAS

- Capa de compresión:

La carga muerta será la relativa a la capa de compresión, ya que las torretas de servicios serán despreciables en el cálculo. La capa de compresión a lo largo de la placa se multiplica por dos al haber dos placas, por lo que la pila recibe:



$$CM_{cc} = 0,1 * 1,2 * 2 * 4,6 * 2 * 23,5 = 54,14 \text{ KN}$$

- Hormigón macizado en apoyos:

$$CM_{HM} = 0,4 * 0,5 * 1,2 * 2 * 23,5 = 11,28 \text{ KN}$$

5.4. Cargas variables

Son cargas externas a la obra en sí, cuya magnitud y/o posición es variable a lo largo del tiempo de forma frecuente o continua, y de variación no despreciable en comparación a su valor medio.

- SOBRECARGA DE USO

Este pantalán no está destinado a operaciones de transporte de mercancías ni del ámbito pesquero, por lo que no existe una sobrecarga en concreto que abarque todo esto. Para dimensionar dicho pantalán desde el lado de la seguridad recurrimos a la tabla de “*Valores nominales mínimos de las sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento en obras de atraque y amarre*” de la ROM 2.0-11, considerando un uso náutico-deportivo sin acceso al tráfico rodado debemos contemplar una sobrecarga mínima de 5 KN/m, a continuación se adjunta el cálculo realizado como un empuje de esta sobrecarga de valor constante en toda la altura del muelle.

- CARGAS DE AMARRE, TIRO DE BOLARDO

Como sollicitación de amarre producida por las embarcaciones, se tiene en cuenta un tiro de bolardo de 0,3 T/m, 0,3 KN/m.

Se ha considerado despreciar cualquier posible carga medioambiental ya que al tener magnitudes muy pequeñas y encontrarse en una zona abrigada se pueden incluso despreciar, la probabilidad de nieve o hielo es nula y la carrera de marea es muy escasa.

- CARGAS DE ATRAQUE

Son las cargas generadas entre un buque y la estructura de atraque desde el momento en que se produce el primer contacto entre ellos hasta que finalmente se alcanza el reposo. En el caso de nuestro puerto, al tratarse de una dársena náutico-deportiva, la velocidad de las embarcaciones es muy baja al llegar a la línea de atraque y no se llegan a producir normalmente contactos ente ésta y la embarcación. Por lo tanto, estas cargas no estarán representadas en el cálculo del dimensionamiento del pantalán.



- CARGAS HIDRÁULICAS

Se definen como cargas hidráulicas a las producidas por el agua y demás líquidos, actuando como aguas exteriores libres, capa freática en rellenos y terrenos naturales, y lastres; y cuyos niveles de actuación se mantengan en reposo o sensiblemente invariables en relación con el tiempo de respuesta de la estructura resistente.

Puesto que el pantalán es de pilas de hormigón sin relleno, en todas las caras la presión hidrostática será equivalente a la contraria. En cambio, en dirección vertical se producirán subpresiones que afectarán a la estabilidad global de la estructura.

- VIENTO

Para determinar la acción del viento lo primero que se ha de determinar es la velocidad básica de viento en la localización de la obra. Para ello se recurre a la *Tabla 3.2.1.4.1. "Velocidad Básica escalar del viento en el litoral español, asociada a un periodo de retorno de 50 años"* recogida en la ROM 04-95.

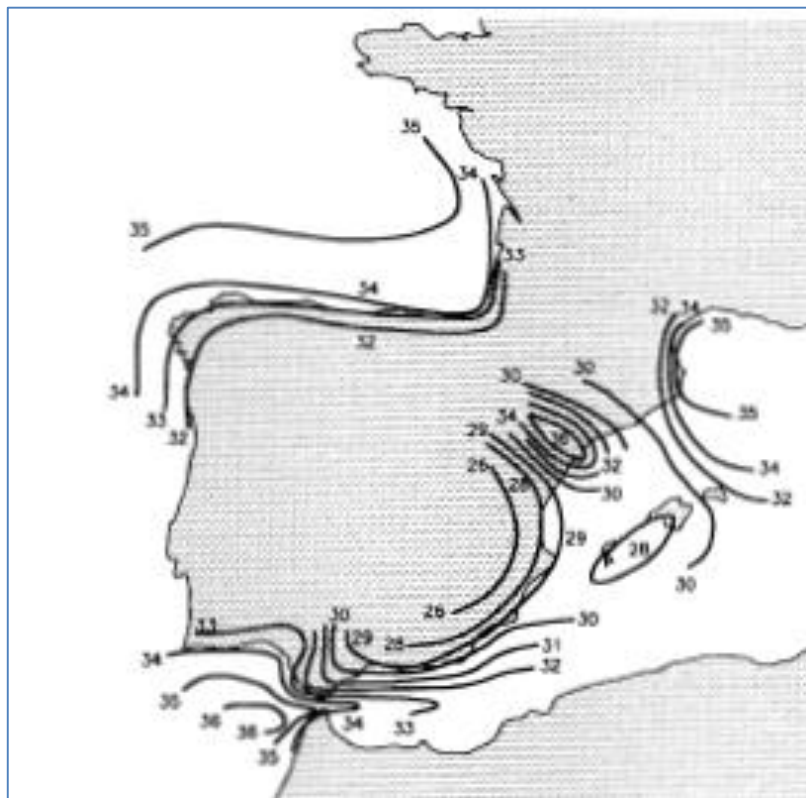


Ilustración 9. Velocidad básica escalar del viento en el litoral español

De ello se extrae que la velocidad básica del viento en Poble Marina es de 28 m/s. Para sacar la relación de presión que ejercerá el viento a esa velocidad sobre los pantalanes se recurre a:

$$P = \frac{v^2}{1,6} = 49 \text{ Pa} = \mathbf{0,49 \text{ KN/m}^2}$$



6. COMPROBACIONES A REALIZAR

6.1. Verificación de la seguridad frente al deslizamiento

La seguridad frente al deslizamiento se considera suficiente cuando se verifica:

$$F \leq \frac{H_{rotura}}{H}$$

Siendo:

H = carga horizontal actuante

$$H = \text{ tiro de bolardo } + \text{ viento } = 3 * 10 + 0,49 * (1 * 1 + 10 * 0,4) = \mathbf{32,45 \text{ KN}}$$

H_{rotura} = carga horizontal que produce la rotura

$$H_{rotura} = V * \tan \phi + af * Ssf + Ep,o$$

$$H_{rotura} = V * \tan 35^\circ = \mathbf{0,7}$$

Es necesario realizar dicha comprobación por cada parte que conforma la pila:

- Banqueta - pila (primer bloque)

$$\begin{aligned} V &= PP_{pilas} + PP_{placa} + CM_{cc} + CM_{HM} - p \\ V &= 198,81 + 59,9 * 2 + 54,14 + 11,28 - 37 = \mathbf{347,03 \text{ KN}} \\ H_{rotura} &= 347,03 * 0,7 = \mathbf{242,92 \text{ KN}} \\ F &= \frac{242,92}{32,45} = 7,48 > 1,5; \mathbf{CUMPLE} \end{aligned}$$

- Primer bloque - segundo bloque

$$\begin{aligned} V &= PP_{3bloques} + PP_{placa} + CM_{cc} + CM_{HM} - p \\ V &= (198,81 - 1,35 * 1,8 * 23,5) + 59,9 * 2 + 54,14 + 11,28 - 2,35 * 10 = \mathbf{303,43 \text{ KN}} \\ H_{rotura} &= 303,43 * 0,7 = \mathbf{212,4 \text{ KN}} \\ F &= \frac{212,4}{32,45} = 6,55 > 1,5; \mathbf{CUMPLE} \end{aligned}$$

- Segundo bloque - tercer bloque

$$\begin{aligned} V &= PP_{2bloques} + PP_{placa} + CM_{cc} + CM_{HM} - p \\ V &= (198,81 - 1,35 * 1,8 * 2 * 23,5) + 59,9 * 2 + 54,14 + 11,28 - 1 * 10 = \mathbf{252,82 \text{ KN}} \\ H_{rotura} &= 252,82 * 0,7 = \mathbf{176,97 \text{ KN}} \\ F &= \frac{176,97}{32,45} = 5,45 > 1,5; \mathbf{CUMPLE} \end{aligned}$$



- Tercer bloque – cuarto bloque

$$\begin{aligned}
 V &= PP_{\text{bloques}} + PP_{\text{placa}} + CM_{cc} + CM_{HM} - p \\
 V &= (1,8 * 23,5) + 59,9 * 2 + 54,14 + 11,28 = \mathbf{227,52 \text{ KN}} \\
 H_{rotura} &= 227,52 * 0,7 = \mathbf{159,26 \text{ KN}} \\
 F &= \frac{159,26}{32,45} = 4,9 > 1,5; \mathbf{CUMPLE}
 \end{aligned}$$

- Cuarto bloque – placa

$$\begin{aligned}
 V &= PP_{\text{placa}} + CM_{cc} + CM_{HM} \\
 V &= 59,9 * 2 + 54,14 + 11,28 = \mathbf{185,22 \text{ KN}} \\
 H_{rotura} &= 185,22 * 0,7 = \mathbf{129,65 \text{ KN}} \\
 F &= \frac{129,65}{32,45} = 4 > 1,5; \mathbf{CUMPLE}
 \end{aligned}$$

6.2. Verificación de la seguridad frente al hundimiento

Para comprobar la estabilidad de la estructura frente al hundimiento, se ha de cumplir el siguiente criterio:

$$CSH = \frac{P_{vh}}{P_v}$$

Si $CSH \geq 2,5$ cumple

Siendo:

P_{vh} = Carga de hundimiento

P_v = Carga media transmitida al terreno

$$P_v = \frac{\sum F_v}{B}$$

La carga de hundimiento se calcula mediante la fórmula de Brinch-Hansen definida en la ROM 0.5-05 de la siguiente manera:

$$P_{vh} = q * N_q * f_q + c * N_c * f_c + \frac{1}{2} * \gamma * B' * N_\gamma * f_\gamma$$

Debido a que se trata de un terreno granular y por lo tanto la cohesión es nula ($c=0$) y que la sobrecarga debida al peso de tierras también lo es ($q=0$), la fórmula se simplifica de la siguiente manera:

$$P_{vh} = \frac{1}{2} * \gamma * B' * N_\gamma * f_\gamma$$



Siendo:

$$\gamma = \text{Peso específico del material de la banqueta} = 2,3 - 1 = 13 \text{ KN/ m}^3$$

$$B' = \text{Ancho efectivo de la cimentación} = B - 2 * e \text{ (como no hay } e) = 1 \text{ m}$$

$$N_y = 2 * (N_q - 1) * \text{tg } \mu = 106,1$$

$$N_q = \frac{1 + \text{sen } \varphi}{1 - \text{sen } \varphi} * e^{\eta * \text{tg } \mu} = 64,2$$

$$f_y = s_y * i_y * d_y * r_y * t_y = 0,78$$

$$s_y = \text{coeficiente de forma} = 1 - 0,4 * \frac{B'}{L'}$$

$$i_y = \text{coeficiente de inclinación} = (1 - \text{tg } \delta)^3$$

$$d_y = \text{efecto de la resistencia del terreno sobre el plano de cimentación} = 1$$

$$r_y = \text{efecto de la inclinación del plano de cimentación} = 1$$

$$t_y = \text{cimentaciones en zonas de pendiente} = 1$$

Con todos los datos podemos afirmar que:

$$P_{vh} = 151,13 \text{ KN/m}^2$$

$$P_v = \frac{V}{B * L'}$$

$$V = 198,81 + 59,9 * 2 + 54,14 + 11,28 + 5 * 2,4 * 10 - 37 = 467 \text{ KN}$$

$$P_v = \frac{467}{1 * 1,8} = 259,46 \text{ KN/ m}^2$$

6.3. Verificación de la seguridad frente al vuelco plástico

Las estructuras portuarias pueden experimentar un tipo de rotura similar al vuelco rígido. Cuando la resultante de las acciones sobre el terreno se acerca al borde del área de apoyo se puede producir una concentración de tensiones tal que provoque la rotura local (plastificación) en esa zona. El terreno cedería, la estructura se inclinaría e, incluso, si no hubiera otros elementos de sustentación que pudieran contener el movimiento, llegaría a producirse el vuelco con la consiguiente ruina de la obra.

El vuelco plástico recibe su adjetivo precisamente de la plastificación local que tiene lugar en el borde de la zona de apoyo cuando se produce este mecanismo de fallo. Como se verá, en el procedimiento de análisis que aquí se indica, la resistencia del terreno juega un papel que puede ser importante y por ese motivo se ha clasificado en la ROM como modo de fallo tipo GEO.

Se define como coeficiente de seguridad frente al vuelco plástico el número por el que habría que multiplicar H (componente horizontal de la resultante de las



acciones) para provocar la plastificación local del terreno. De acuerdo con la notación indicada en la *Ilustración 10*, se tendría para F varias definiciones equivalentes:

$$F = \frac{H_{rotura}}{H} = \frac{\tan \delta_{rotura}}{\tan \delta} = \tan \delta_{rotura} * \frac{V}{H}$$

Al aumentar paulatinamente H para alcanzar la plastificación local del terreno, el resto de factores que definen la situación de proyecto quedarían constantes. Esos factores son, aparte de los parámetros geotécnicos, la resultante vertical de las acciones y las distancias a y h que definen los brazos de H y V. La misma definición del coeficiente de seguridad se obtiene si se utiliza la expresión:

$$F = \frac{M_{est}}{M_{vol}}$$

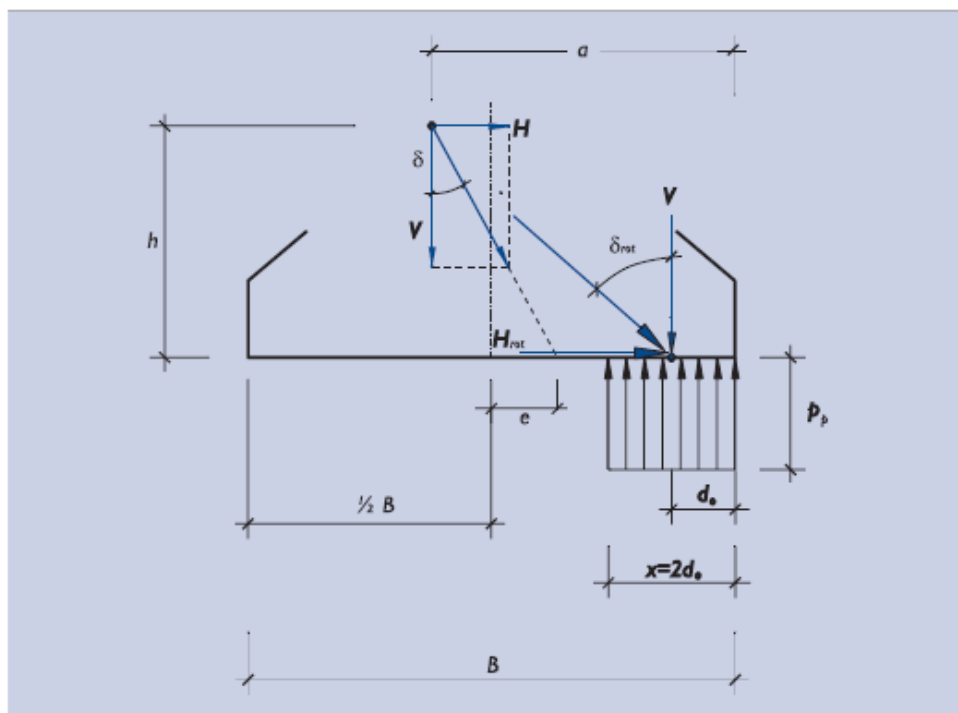


Ilustración 10. Comprobación del vuelco plástico

Siendo:

M_{est} = momento de la fuerza horizontal que provocaría la rotura = $H_{rot} * h$. Es el máximo momento resistente.

M_{vol} = momento volcador de la fuerza horizontal = $H * h$.

La condición de rotura se alcanza cuando el valor medio de la componente vertical de la presión que actúa en la zona comprimida iguala a la presión que produce la plastificación local del terreno. En general se puede suponer que esta presión es igual a la presión vertical de hundimiento, p_{vh} , definida anteriormente.

La forma general de cálculo de F incluye un proceso iterativo, haciendo crecer H, conservando como se ha dicho el resto de factores constantes, hasta que se obtenga la condición de rotura y obtener así el valor H_{rot} .



En cada una de las iteraciones de cálculo, se obtendrán diferentes anchos de cimentación equivalente, B' , y una inclinación de las acciones distintas, δ , y esto requerirá un cálculo específico de p_{vh} en cada iteración, pues su valor depende, entre otros, de esos dos parámetros.

$$\Sigma F_v = 198,81 + 59,9 * 2 + 54,14 + 11,28 + 5 * 2,4 * 10 - 37 = \mathbf{467 \text{ KN}}$$

$$\Sigma F_h = 3 * 10 + 0,49 * (1 * 1 + 10 * 0,4) = 32,45 \text{ KN}$$

$$\Sigma M_e = \Sigma F_v * \frac{1,8}{2} = 420,3 \text{ KN} * m$$

$$\Sigma M_v = \Sigma F_h * h_{coronación} = 32,45 * 5,2 = \mathbf{168,74 \text{ KN} * m}$$

$$Coef = F = \frac{\Sigma M_e}{\Sigma M_v} = \frac{420,3}{168,74} = 2,5 > 1,5 ; \mathbf{CUMPLE}$$



7. CONCLUSIONES

En el “*Anejo 12. Estudio de soluciones del pantalán*” se eligió la solución más favorable para la ejecución de la obra de amarre. En el presente anejo se ha dimensionado teniendo en cuenta tanto las características del material como del terreno y se ha procedido a hacer las comprobaciones necesarias para su correcta verificación.

Dado que es un Trabajo Final de Grado no se han llevado a cabo todas las comprobaciones que recoge la norma. Debido a que todas las comprobadas resultan satisfactorias se puede considerar que el pantalán está correctamente dimensionado. La sección del pantalán viene definida en el “*Plano 16. Secciones pantalán*”.

