

ANEJO 11:
CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO
DEL PANTALÁN

ÍNDICE

1	Objeto.....	5
2	Estudio de soluciones.....	5
2.1	Tipologías	5
2.1.1	Material	5
2.1.2	Tipología constructiva	6
2.1.3	Formas de amarre	7
2.2	Elección de la tipología de pantalán.....	9
3	Disposición de atraques	11
4	Características de los materiales.....	12
5	Estado Límite Último (ELU)	13
5.1	Combinación de acciones.....	13
5.2	Coeficientes de ponderación parciales de las acciones	14
5.3	Coeficientes de compatibilidad	14
6	Acciones de cálculo	14
6.1	Cargas de cálculo.....	14
6.1.1	Cargas gravitatorias.....	15
6.1.2	Cargas medio físico.....	15
6.1.3	Cargas de uso y explotación	15
6.2	Acciones resultantes	16
6.3	Carga de hundimiento de los pilotes	16
6.3.1	Resistencia unitaria	17
6.3.2	Resultado.....	18

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 11.1. Pantalán fijo.....	6
Ilustración 11.2. Pantalán flotante.....	7
Ilustración 11.4. Amarre mediante fingers.	8
Ilustración 11.3. Amarres mediante muerto.....	8
Ilustración 11.5. Sección modelo OFIÓN 180. Global Marinas.	9
Ilustración 11.6. Finger CRONOS. Global Marinas	10
Ilustración 11.7. Cornamusa. Global Marinas	10
Ilustración 11.9. Sección pantalán secundario.....	11
Ilustración 11.8. Sección pantalán principal	11
Ilustración 11.10. Ordenación interna	12

ÍNDICE TABLAS

Tabla 11.1. Longitud de los pantalanes.....	12
Tabla 11.2. Combinación de acciones	16
Tabla 11.3. Comprobación frente al deslizamiento	16

1 OBJETO

El objeto del siguiente anejo es el de realizar un dimensionamiento de los pantalanes que dispondremos en nuestro muelle como elementos de atraque de las embarcaciones que habrá en el puerto deportivo del Perelló. Para realizar el dimensionamiento de los pantalanes se dispondrán las diferentes disposiciones constructivas y de materiales que se pueden albergar a la hora de construir estos elementos de atraque deportivo.

Un pantalán es una obra de atraque perpendicular o paralela a la costa o muelle, con posibilidad de realizar la transferencia de mercancías en toda la eslora del barco. El atraque del barco puede realizarse en una o en las dos caras del pantalán. Su unión con tierra se realiza prolongando su misma estructura, cuando es perpendicular a la costa o muelle, o por medio de un puente o pasarela, cuando es paralelo.

En los puertos deportivos se utilizan los pantalanes como obras de atraque ya que maximizan la compacidad del espacio que presenta el puerto. Únicamente se suelen emplear los muelles como elementos de atraque en los puertos deportivos si se disponen de embarcaciones de una gran eslora y no existe otra alineación dentro del puerto para su atraque.

En este anejo se observará, que para un puerto deportivo, los pantalanes presentan unas tipologías constructivas particulares.

Posteriormente, se realizará un cálculo de las diferentes solicitaciones que se producen en los amarres y se calculará, al igual que en el muelle, las verificaciones frente a la estabilidad al deslizamiento y la estabilidad al vuelco.

2 ESTUDIO DE SOLUCIONES

En el siguiente apartado se detallarán las diferentes tipologías constructivas que existen de los pantalanes y de adoptará una solución para colocarla en nuestra nueva dársena de El Perelló.

2.1 TIPOLOGÍAS

Los pantalanes pueden clasificarse según los siguientes conceptos.

2.1.1 Material

- Madera:

Es el tipo de pantalán más antiguo que existe. La construcción con este tipo de pantalanes presenta un gran inconveniente, la salinidad marina y el ambiente exterior provoca que el nivel de deterioro y pudrición sea elevado. Aunque debido a elevada calidad estética, en la actualidad se están colocando diferentes tratamientos capaces de solventar este inconveniente.

El coste de la colocación de los pantalanes con madera es bajo, pero necesita un elevado coste en mantenimiento.

- Hormigón:

El hormigón es uno de los materiales más empleados para la construcción de pantalanes debido a la eficacia que presenta como material de construcción. Las ventajas que presenta este

material son que tiene una gran resistencia, una gran capacidad portante y tiene una gran resistencia a la colisión de las embarcaciones que puedan producirse.

En cambio, la construcción de los pantalanos empleando hormigón presenta la desventaja de que, si se producen fisuras en la estructura debido al mal diseño o a excesivos esfuerzos, las armaduras quedarían expuestas al medio marino, pudiendo corroerse y generando patología en la estructura.

- Metales:

Los materiales metálicos que se pueden emplear para la construcción de pantalanos son aluminio INOX, composite o algún material de características similares. Presentan una elevada resistencia y capacidad portante, haciéndole así, como en el caso del hormigón, un material apropiado para este tipo de estructuras portuarias.

El acero inoxidable es aquel que no necesita un mantenimiento exhaustivo posterior, puesto que ya presenta unas buenas propiedades frente a la corrosión.

2.1.2 Tipología constructiva

Los pantalanos pueden ser contruidos de dos formas, por un lado, pueden ser pantalanos fijos y, por otro lado, pueden ser pantalanos flotantes.

- Fijos:

Los pantalanos fijos son estructuras que permanecen en reposo o van anclados al subsuelo del fondo marino. Son elementos que presentan una gran rigidez, una vez contruidos no pueden variar su alineación, y una gran solidez estructural frente a las diferentes sollicitaciones que son impuestas.

Este tipo de estructura, al ser tan rígida, le afectan los posibles asientos que puedan producirse en el terreno, por lo tanto, para su construcción necesita que el terreno sea competente. Además, al tener una cota fija, este tipo de pantalán presenta un francobordo



Ilustración 11.1. Pantalán fijo

variable, por lo que, no es recomendable para puertos donde se produzca una elevada carrera de marea.

- Flotantes:

Los pantalanes flotantes son obras de atraque que, como su nombre indica, permanecen flotando en el mar y son anclados al fondo marino mediante cadenas (muertos), sistema de pilotes o guías.

Estos pantalanes son empleados en zonas donde tenemos una carrera de marea considerable y, debido a que permanecen en la superficie flotando, el francobordo que presentan es siempre constante. Con la construcción de este tipo de pantalán, podemos realizar una remodelación de las alineaciones de la dársena deportiva de forma fácil.

También suelen emplearse cuando el cimiento no es competente o cuando la dársena interior del puerto presenta un gran calado, ahorrando un gran volumen de material para alcanzar la base de la cimentación.

En cambio, al no ser un elemento rígido, en épocas con fuertes temporales presenta una gran inestabilidad y, si no son de un material bueno, se deterioran mucho.



Ilustración 11.2. Pantalán flotante.

2.1.3 Formas de amarre

En los puertos deportivos, para optimizar la lámina de agua, siempre suelen amarrarse en punta, a no ser que la embarcación sea de gran eslora y solo pueda atraque abarloado en el muelle.

Dentro de las formas de amarre más habituales que encontramos en los puertos deportivos, tenemos amarre mediante fingers, mediante muertos o mediante pilas.

ANEJO 11: CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL PANTALÁN

Actualmente, todas las reformas que se están llevando a cabo de las dársenas deportivas, emplean los fingers como elementos de amarre de las embarcaciones, ya que es el sistema que más optimiza la lámina de agua y el mantenimiento de la infraestructura es escaso, por no decir nulo. Esto es debido a que el espacio entre pantalanes principales es de 1,5 veces la eslora de la embarcación y en los otros casos es de 2 veces, tal y como se reflejó en el *anejo 06: Dimensionamiento interno*.



Ilustración 11.3. Amarre mediante fingers.

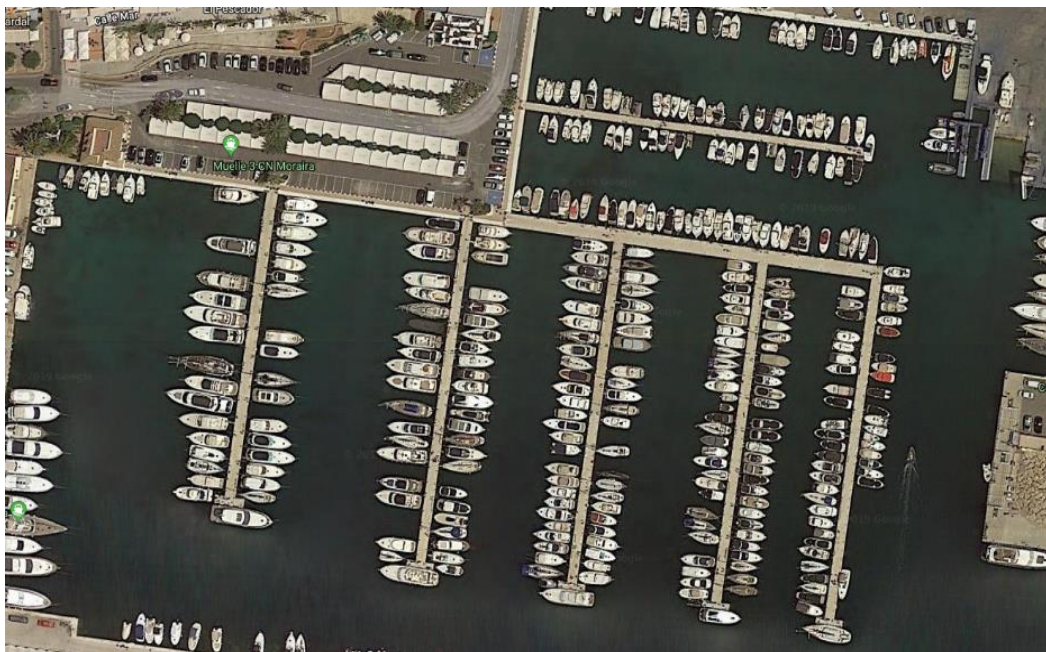


Ilustración 11.4. Amarres mediante muerto.

2.2 ELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE PANTALÁN

Con todas las consideraciones establecidas en el apartado anterior, debido a que tenemos una carrera de marea muy reducida y que tenemos un suelo con una capacidad competente elevada, nos disponemos a emplear para el puerto de El Perelló pantalanés fijos.

El apoyo del pantalán contra el terreno se realizará mediante unas pilas formadas por bloques de hormigón colocados cada 5 metros y apoyados sobre una banqueta de escollera natural entre 50-100 kg.

La subestructura del pantalán estará formada por perfiles de acero UPN 240 electrosoldados y galvanizados en caliente, con un suelo realizado mediante tablonés de composite, recreando la madera, fijados al armazón con tornillería en acero inoxidable. Para el registro y paso de las instalaciones, se utilizará un cubrecanaletas realizado mediante una aleación de aluminio y tendrá una apertura lateral para poder acceder a ellas. La defensa lateral del pantalán será empleará, también, una chapa de composite que recrea la madera y la unión entre los diferentes elementos se realizará mediante amortiguadores de neopreno y tornillería en acero inoxidable.

La anchura que tendrán los pantalanés será de 2 metros tal y como se indicó en el *anejo 06: Dimensionamiento interno*.

El sistema de pantalán descrito es el modelo *Pantalán Ofión 180* que tiene en su catálogo la empresa *Global Marinas*, reflejado en la siguiente ilustración:

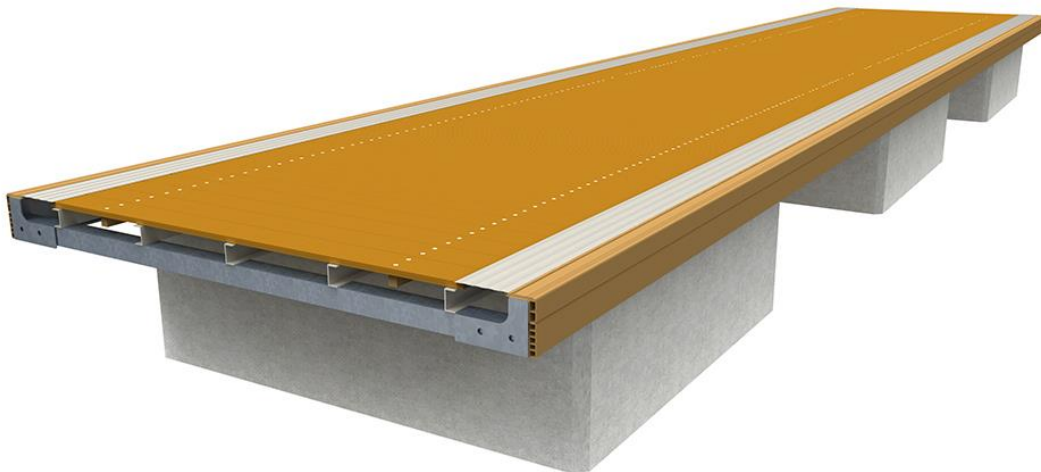


Ilustración 11.5. Sección modelo OFIÓN 180. Global Marinas.

Como ya se ha establecido anteriormente, emplearemos los fingers como elementos de amarre de las embarcaciones. En este caso, emplearemos el modelo *CRONOS* de base triangular que tiene en el catálogo *Global Marinas*, formado por perfiles extruidos en aleación de aluminio marino electrosoldado y un suelo de iguales características que los pantalanés.

Para el apoyo de los fingers emplearemos un pilote de hormigón prefabricado de sección circular de 30 cm de diámetro y anclado hasta la profundidad -8,00 m del NMM para las embarcaciones igual o superior a 10 metros de eslora, el resto estarán empotradas en el pantalán. Para protegernos de los impactos que pueden darse al atracar las embarcaciones, se colocará un material plástico antienviejamiento y para amarrar las embarcaciones utilizaremos las cornamusas de aleación en aluminio.

ANEJO 11: CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL PANTALÁN

La anchura que tendrán estos pantalanes será de 1 metro, tal y como se reflejó en el *anejo 06: Dimensionamiento interno*.

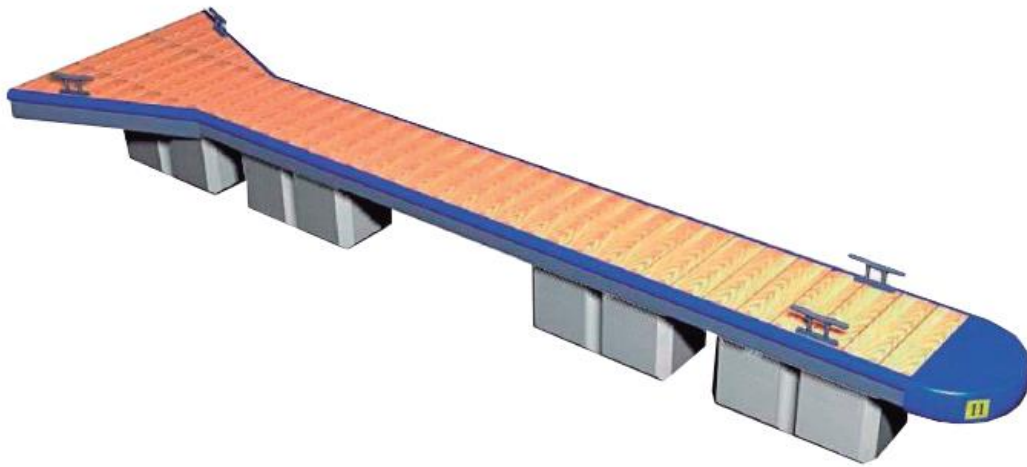


Ilustración 11.6. Finger CRONOS. Global Marinas



Ilustración 11.7. Cornamusa. Global Marinas

En las siguientes ilustraciones se refleja la sección tanto del pantalán principal como del pantalán secundario:

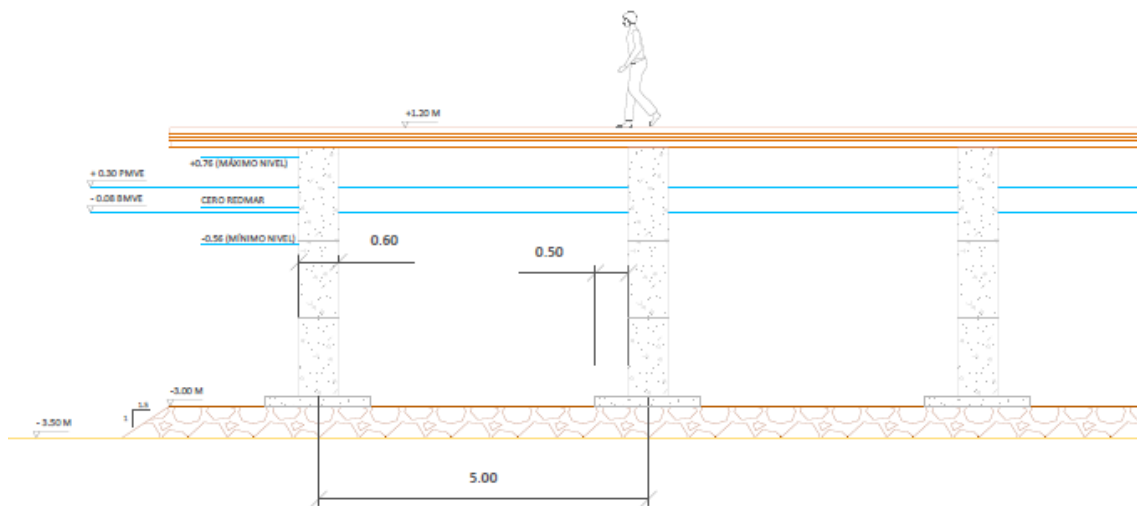


Ilustración 11.9. Sección pantalan principal

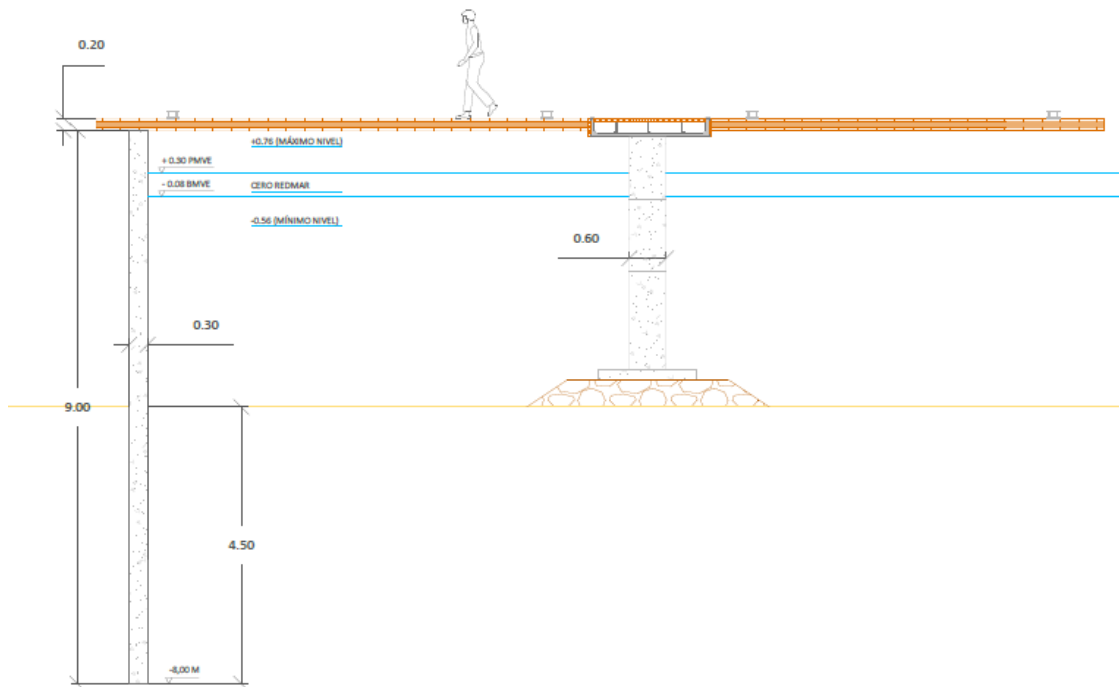


Ilustración 11.8. Sección pantalan secundario.

3 DISPOSICIÓN DE ATRAQUES

Tal y como se puede observar en el plano en planta del puerto, los pantalanes están dispuestos de forma perpendicular a la alineación del muelle. Con los criterios establecidos en el *Anejo 06: Dimensionamiento interno* de la anchura necesaria que hay que dejar entre cada pantalan principal, con la nueva ordenación de la dársena del puerto de El Perelló aparecen un total de 12 pantalanes principales.

Según se estableció cuando se realizó el dimensionamiento interno del puerto y del estudio de soluciones, las embarcaciones debían de estar ordenadas de forma que estén encaradas las embarcaciones que presentan una misma eslora.



Ilustración 11.10. Ordenación interna

En la siguiente tabla se refleja el nombre del pantalán y la longitud que tienen:

Tabla 11.1. Longitud de los pantalanes

Pantalán	Longitud (m)
P_CN1	39
P_CN2	69
P_CN3	48
P_CN4	39
P_CN5	39
P_CN6	39
P_CN7	39
P_CN8	48
P_CN9	48
P_CN10	48
P_CN11	48
P_CN12	48

4 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Las características de los materiales considerados para los cálculos de la estabilidad global de los pantalanes son:

- **Escollera de cimentación en banqueta**

Densidad seca

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

Densidad saturada	$\gamma_s = 21 \text{ kN/m}^3$
Ángulo de rozamiento interno	$\phi = 40^\circ$
Coeficiente de rozamiento cajón-escollera	$\mu = 0,7$

- **Hormigones**

Densidad media del hormigón en masa	$\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$
-------------------------------------	------------------------------

- **Aluminio**

Densidad media del aluminio	$\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$
-----------------------------	------------------------------

5 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (ELU)

De la misma forma que se estableció en el anterior anejo, los Estados Límite Últimos son aquellos estados que producen la ruina por rotura o colapso estructural de la obra o de parte de ella.

5.1 COMBINACIÓN DE ACCIONES

Para la verificación de la seguridad a Estados Límite Últimos se va a emplear la combinación fundamental o característica que establece la *ROM 0.5-05*. Esta combinación toma en consideración la actuación simultánea de varias acciones variables con valores compatibles en la ocurrencia del modo de fallo y sus acciones directamente dependientes de la misma intervienen con su valor característico; y el resto de las acciones variables simultáneas y compatibles con sus valores de combinaciones fundamentales, que se obtienen multiplicando los valores nominales o característicos de las mismas por un factor de compatibilidad ψ_0 . Esta combinación se puede representar por la fórmula siguiente:

$$\gamma_g \cdot G + \gamma_{q,1} \cdot Q_1 + \sum \psi_{0,i} \cdot \gamma_{q,i} \cdot Q_i$$

Donde:

- G = acciones permanentes.
- Q_1 = acción variable principal o predominante en la ocurrencia del modo de fallo y acciones variables de actuación simultánea directamente dependiente de la predominante.
- Q_i = otras acciones variables de actuación simultánea.
- $\psi_{0,i}$ = coeficiente de compatibilidad fundamental o característico.
- γ_g, γ_q = coeficientes de ponderación parcial.

5.2 COEFICIENTES DE PONDERACIÓN PARCIALES DE LAS ACCIONES

Los coeficientes de ponderación parciales de las acciones para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos son:

Acción	Símbolo	Tipo de modo de fallo				
		EQU	STR	GEO	UPL	HYD
Permanente						
Desfavorable	γ_g	1,10	1,35	1,00	1,00	1,35
Favorable		0,90	1,00	1,00	0,90	0,90
Variable						
Desfavorable	γ_q	1,50	1,50	1,30	1,50	1,50
Favorable		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Ilustración 11.12. Coeficientes de ponderación parciales para la verificación de modos de fallo ELU. Tabla 3.3.2 de la ROM 0.5-05

5.3 COEFICIENTES DE COMPATIBILIDAD

Según establece en la Tabla 5.5 de la ROM 0.0-01, los coeficientes de compatibilidad básico que se deben de emplear son los siguientes:

	fundamental		frecuente		cuasipermanente
Origen	Ψ_p^0	Ψ^0	Ψ_p^1	Ψ^2	Ψ^2
Gravitatorio	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Medio físico	1.0	0.7	0.3	0.2-0.0	0.2-0.0*
Terreno	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Uso y Explotación	1.0	0.7	0.6	0.5-0.0	0.5-0.0*
del Material	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Construcción	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Ilustración 11.13. Coeficiente de compatibilidad básico. Fuente ROM 0.0-01. Tabla 5.5

6 ACCIONES DE CÁLCULO

Para el cálculo de la estabilidad global de los pantalanos se va a realizar los mismos cálculos de verificación frente al deslizamiento y al vuelco que los que se realizaron en el *anejo 10: Cálculo y dimensionamiento del muelle*.

6.1 CARGAS DE CÁLCULO

En este caso, las cargas que se van a considerar para los pantalanos son las siguientes:

- Cargas gravitatorias
 - Peso propio pilas de hormigón
 - Peso propio tablero
 - Peso propio de la banqueta de enrase.
- Cargas medio físico
 - Cargas hidráulicas
- Cargas uso y explotación
 - Cargas amarre

- Sobrecargas de uso

6.1.1 Cargas gravitatorias

En este apartado de las cargas gravitatorias se va a establecer las cargas que transmiten tanto las pilas como el tablero al terreno. Las pilas tienen un ancho de 1,50 metros y su manga es variable en función de hasta dónde tengamos la cota del terreno una vez hayamos realizado el dragado de la dársena. Para los cálculos, emplearemos una sección que tiene la cota del terreno a la -3,50 m, por lo tanto, nuestras pilas tienen una manga de 3,77 metros.

Por lo que, su carga es de:

$$G_1 = A \cdot \gamma = 0,6 \cdot 3,77 \cdot 23 = 52,03 \text{ kN/m}$$

Las pilas se apoyan sobre una base de nivelación de hormigón de 2,50x0,15 metros, la carga que transmite a la banqueta es de:

$$G_2 = A \cdot \gamma = 0,15 \cdot 1,6 \cdot 23 = 5,52 \text{ kN/m}$$

Respecto al tablero de aluminio, como se puede observar en su sección, tiene un canto de 0,30 metros y emplearemos un ancho tributario de 5 metros.

Por lo tanto, su carga será de:

$$G_3 = A \cdot \gamma = 0,3 \cdot 5 \cdot 27 = 40,5 \text{ kN/m}$$

6.1.2 Cargas medio físico

Analizando las cargas hidrostáticas que podría actuar en los pantalanes, se considera que el empuje que genera el agua contra el paramento vertical de las pilas del pantalán se compensa unas con otras. Por lo tanto, de las cargas hidráulicas son actuaría la sobre presión que puede generarse en la base de las pilas, que tiene un valor de:

$$Q_{1, \text{pleamar}} = 10 \cdot 0,60 \cdot 4,26 = 25,56 \text{ kN/m}$$

$$Q_{1, \text{bajamar}} = 10 \cdot 0,60 \cdot 2,94 = 17,64 \text{ kN/m}$$

6.1.3 Cargas de uso y explotación

Para las cargas de uso y explotación que actuarán en el pantalán tenemos, por un lado, la sobrecarga de uso que se va a considerar de 4 kN/m², por lo que, la carga repartida será de:

$$Q_2 = 4 \cdot 5 = 20 \text{ kN/m}$$

Respecto a las cargas que generan los amarres de las embarcaciones a los bolardos, se considera que la carga puntual que se genera en cada bolardo es de 50 kN separados cada 10 metros. Hay que mencionar que en la *tabla 3.4.2.3.5.8. de la ROM 0.2-90*, para embarcaciones con un desplazamiento hasta 2.000 t, determina una carga de amarre de 100 kN, pero para el tipo de puerto que tenemos, se considera una carga excesiva.

Se considera que el tiro se produce al mismo tiempo en todos los puntos de amarre de la estructura resistente. Además, para el cálculo del amarre, se sustituye la carga puntual por una carga lineal. Por último, determinar que los amarres generan una inclinación de 20° respecto a la horizontal, por lo tanto, la carga de los amarres es de:

$$Q_{3,h} = 5 \cdot \cos(20^\circ) = 4,70 \text{ kN/m} \quad Q_{3,v} = 5 \cdot \sin(20^\circ) = 1,71 \text{ kN/m}$$

6.2 ACCIONES RESULTANTES

En la siguiente tabla se reflejan todas las acciones actuantes en los pantalanos asignándoles sus coeficientes de ponderación y de compatibilidad correspondientes:

Tabla 11.2. Combinación de acciones

CARGAS PERMANENTES		Pleamar		Bajamar		Coef ψ	Coef γ	Pleamar		Bajamar	
	Pilas	52.026	kN/m	52.026	kN/m	1	0.9	0.8	m	0.8	m
	Tablero	40.5	kN/m	40.5	kN/m	1	0.9	0.8	m	0.8	m
	Banqueta enrase	5.52	kN/m	5.52	kN/m	1	0.9	0.8	m	0.8	m
HIDROSTÁTICO	Subpresiones	25.56	kN/m	17.64	kN/m	0.7	1.1	0.8	m	0.8	m
USO Y EXPLOTACIÓN	Sobrecarga de uso	20.00	kN/m	20.00	kN/m	0.7	0	0.8	m	0.8	m
	Carga de amarre horizontal	4.70	kN/m	4.70	kN/m	0.7	1.5	3.9	m	3.9	m
	Carga de amarre vertical	1.71	kN/m	1.71	kN/m	0.7	1.5	0.25	m	0.25	m

Por lo tanto, la comprobación frente al deslizamiento es:

Tabla 11.3. Comprobación frente al deslizamiento

COMPROBACIÓN DESLIZAMIENTO		Pleamar		Bajamar	
	Fg	88.24	kN/m	88.24	kN/m
	Fb	21.48	kN/m	15.38	kN/m
	Ff	-4.93	kN/m	-4.93	kN/m
	FS	9.47		10.34	

Y la comprobación de la estabilidad frente al vuelco es:

COMPROBACIÓN VUELCO		Pleamar		Bajamar	
	Momentos estabilizadores	70.59	kN·m/m	70.59	kN·m/m
	Momentos desestabilizadores	35.43	kN·m/m	30.56	kN·m/m
	FS	1.99		2.31	

Como se puede observar, ambas comprobaciones están por encima del coeficiente de seguridad F_1 ante una situación cuasi-permanente, que es de 1.5.

6.3 CARGA DE HUNDIMIENTO DE LOS PILOTES

Según establece la ROM 0.5-05, la resistencia al hundimiento de un pilote aislado se considera la carga que genera la punta y la carga que genera el fuste del pilote. Esto viene determinado por la siguiente ecuación:

$$Q_h + W = Q_p + Q_f$$

Donde:

- Q_h = es la carga vertical que aplicada en la cabeza del pilote produce su hundimiento.

- W = peso efectivo del pilote. Normalmente suele despreciarse.
- Qp = Resistencia por punta
- Qf = Resistencia por fuste

La resistencia por punta y por fuste pueden calcularse mediante las siguientes expresiones:

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

$$Q_f = \sum_{i=1}^n q_{f,i} \cdot A_f$$

Donde:

- qp: es la resistencia unitaria por la punta.
- qf: es la resistencia unitaria por el fuste.
- Af: área del fuste
- Ap: área de la base

En el caso que estamos estudiando, para un pilote de hormigón prefabricado de sección circular de 30 centímetros de diámetros, las áreas de la base y del fuste son:

$$A_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,0707 \text{ m}^2 \quad A_f = \pi \cdot D \cdot L = \pi \cdot 0,3 \cdot 4,50 = 4,24 \text{ m}^2$$

6.3.1 Resistencia unitaria

Los métodos basados en soluciones analíticas tienen un fundamento parcial en la teoría de la plasticidad y nos permite obtener, de forma aproximada, la resistencia por punta y por fuste de los pilotes.

En este caso, para un suelo granular, la **resistencia unitaria por la punta** para pilotes hincados viene definido por:

$$q_p = 3 \cdot \sigma'_{vp} \cdot N_q \cdot f_D \nless 20 \text{ MPa}$$

Donde:

- σ'_{vp} = presión vertical efectiva al nivel de la punta antes de instalar el pilote.

$$\sigma'_{vp} = 21 \cdot 4,50 - 8,74 \cdot 10 = 7,10 \text{ kN/m}^2 \text{ (PMVE)}$$

$$\sigma'_{vp} = 21 \cdot 4,50 - 7,44 \cdot 10 = 20,1 \text{ kN/m}^2 \text{ (BMVE)}$$

Escogeremos el valor de la presión vertical efectiva correspondiente a la BMVE, ya que es el valor más desfavorable.

- Nq = Factor de capacidad de carga definido por la expresión

$$\frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} \cdot e^{\pi \cdot \tan\phi} = \frac{1 + \sin 40^\circ}{1 - \sin 40^\circ} \cdot e^{\pi \cdot \tan 40^\circ} = 64,195$$

- fD = factor de correlación por tamaño del pilote

$$f_D = 1 - \frac{D}{D_0} > 0,7 \rightarrow f_D = 1 - \frac{0,3}{3} = 0,7$$

Con todos estos valores, la resistencia unitaria por punta de los pilotes es de:

$$q_p = 3 \cdot 20,1 \cdot 64,20 \cdot 0,7 = 2709,88 \text{ kPa}$$

La **resistencia por fuste** en suelos granulares se estimará mediante la siguiente fórmula:

$$q_f = \sigma'_v \cdot K \cdot f \cdot \operatorname{tg} \phi$$

Donde:

- σ'_v = presión vertical efectiva al nivel considerado

$$\sigma'_v = 21 \cdot 3,5 - 6 \cdot 10 = 13,5 \text{ kN/m}^2$$

- K = coeficiente de empuje empírico

Para pilotes hincados se tomará K = 0,75 y para pilotes perforados se tomará K = 0,5

- f = factor de reducción del rozamiento del fuste

Para pilotes de hormigón “in situ” y prefabricados de hormigón se tomará f = 1, para pilotes de acero se tomará f = 0,9.

Con todas estas consideraciones, la resistencia unitaria por fuste de los pilotes es de:

$$q_f = 13,5 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot \operatorname{tg} 40^\circ = 8,50 \text{ kPa}$$

6.3.2 Resultado

Con todos los valores obtenidos anteriormente, la carga de hundimiento de los pilotes es de:

$$Q_h = 0,070 \cdot 2709,88 + 4,24 \cdot 8,50 = 227,63 \text{ kN}$$

El coeficiente de seguridad mínimo frente al hundimiento de pilotes, en una situación cuasi-permanente, para el método basado en las fórmulas analíticas es de 2,5. De este modo, podemos tener una carga vertical actuante en el pilote de:

$$Q = \frac{Q_h}{F_1} = \frac{227,63}{2,5} = 91,05 \text{ kN}$$

La sollicitación que va a requerir los fingers es muy escasa, tan solo el embarque y desembarque de las personas a sus embarcaciones y el paso de objetos de pequeñas dimensiones, por lo que, con los valores obtenidos anteriormente estamos muy por encima de la seguridad.