



ANEJO Nº 7.

CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE ATRAQUE





Índice

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	MUELLE	5
2.1.	FACTORES CONDICIONANTES	5
2.1.1.	DISEÑO	5
2.1.2.	AMBIENTALES	8
2.1.3.	MATERIALES.....	8
2.2.	SECCIÓN TIPO PLANTEADA.....	9
2.3.	BASES DE CÁLCULO	9
2.4.	COMBINACION DE ACCIONES.....	14
2.5.	COMPROBACIONES DEL MUELLE.....	15
2.5.1.	FS DESLIZAMIENTO	15
2.5.2.	FS HUNDIMIENTO	16
2.5.3.	FS VUELVO.....	17
2.6.	CONCLUSION	17
3.	RAMPA DE VARADA.....	17
3.1.	ELEMENTOS DE APOYO	18
4.	REFERENCIAS	18



1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se calcula, dimensionan y detallan las instalaciones en lado mar mencionadas en el anejo anterior, con el objetivo de obtener un dimensionamiento que garantice la estabilidad de la obra, el máximo aprovechamiento de las estructuras y una mejor comprensión de su composición.

Para ello, se ha tomado como base las recomendaciones para obras marítimas, y obras de características similares a la que se proyecta.

Mediante una hoja de cálculo se han realizado todas las operaciones que a continuación se desarrollan y se ha ajustado al máximo la estructura de manera que cumpliera todas las solicitudes.

2. MUELLE

2.1. FACTORES CONDICIONANTES

2.1.1. DISEÑO

I. TIPOLOGÍA DE BUQUE

Como ya se ha citado, la finalidad de la línea de atraque que se proyecta, va a ser destinada al servicio de grandes embarcaciones, megayates en este caso.

Para poder adecuar la obra a esta tipología de buque, se han recogido los tamaños característicos de estas embarcaciones deportivas, información citada en la ROM 3.1-99.

TABLA 3.1. (Continuación)							
Tonelaje de Peso Muerto (TPM) t	Desplaza miento (Δ) t	Eslora Total (L) m	Esiora entre perpendicu lares (Lpp) m	Manga (B) m	Puntal (T) m	Calado (D) m	Coefficiente de Bloque



Embarcaciones deportivas (a motor)							
—	50,0	24,0	—	5,5	—	3,3	—
—	35,0	21,0	—	5,0	—	3,0	—
—	27,0	18,0	—	4,4	—	2,7	—
—	16,5	15,0	—	4,0	—	2,3	—
—	6,5	12,0	—	3,4	—	1,8	—
—	4,5	9,0	—	2,7	—	1,5	—
—	1,3	6,0	—	2,1	—	1,0	—
Embarcaciones deportivas (a vela)							
—	60,0	24,0	—	4,6	—	3,6	—
—	40,0	21,0	—	4,3	—	3,0	—
—	22,0	18,0	—	4,0	—	2,7	—
—	13,0	15,0	—	3,7	—	2,4	—
—	10,0	12,0	—	3,5	—	2,1	—
—	3,5	9,0	—	3,3	—	1,8	—
—	1,5	6,0	—	2,4	—	1,5	—

Tabla 1. Dimensiones medias de buques a plena carga. (FUENTE: ROM 3.1-99)

Como se observa en la tabla, la eslora máxima de estas embarcaciones llega a los 24 metros, contando con calados de hasta 3,6 metros para el caso de las embarcaciones deportivas a vela y con mangas de 5,5 metros en las embarcaciones a motor.

Se tomarán estos últimos datos, para el cálculo y distribución de la línea de atraque, para encontrarse del lado de la seguridad y asegurar un servicio a cualquier tipo de embarcación deportiva.

II. PLANTA

La obra de atraque proyectada, tiene una longitud total de 65 metros, que prolongan el muelle existente hasta la salida de pluviales. La distribución de las embarcaciones que operaran sobre ella, se detalla según la ROM 2.0-11.

Generalmente las embarcaciones náutico-deportivas suelen atracar de punta, siendo por tanto el condicionante principal la manga del buque tipo, la cual tiene un valor de proyecto de 5,5 metros, máxima para una embarcación deportiva a motor.

La longitud de línea de atraque (L_a) que se asigna a cada embarcación suele oscilar entre 1.15 y 1.25 veces la manga del buque de manga tipo. Por tanto, para los 5,5 metros de manga, corresponde una longitud de aproximadamente 6,5 metros de línea por buque.

En aquellos casos en que las embarcaciones no atracan de punta, es válida la recomendación de los pesqueros para obtener la longitud de atraque ($L_a = 1$ a $1,5 L_b$). El espacio que le correspondería en este caso a cada buque sería de unos 30 metros de línea de atraque para los 24 metros de eslora.

III. ALZADO

La cota de coronación del muelle llegará a la +1,35, misma cota que la del muelle existente que se prolonga.

Por otro lado, el calado del que se dispondrá en el atraque, tras el dragado correspondiente estudiado en el Anejo 8, serán -6,5 metros, consiguiendo de esta manera una profundidad homogénea en toda la línea de muelle tanto en la existente, como en la de nueva obra, y tratando de alcanzar además, un terreno estable y con suficiente capacidad portante sobre el que disponer la construcción.

Este criterio se compara con la formulación simplificada, enunciada en la ROM, la cual estima el calado mínimo a disponer en función del nivel de referencia de las aguas exteriores.

	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

Tabla 2. Formulación simplificada para la estimación del calado del atraque a partir del nivel de referencia de las aguas exteriores adoptado. (Fuente: ROM 2.0-11)

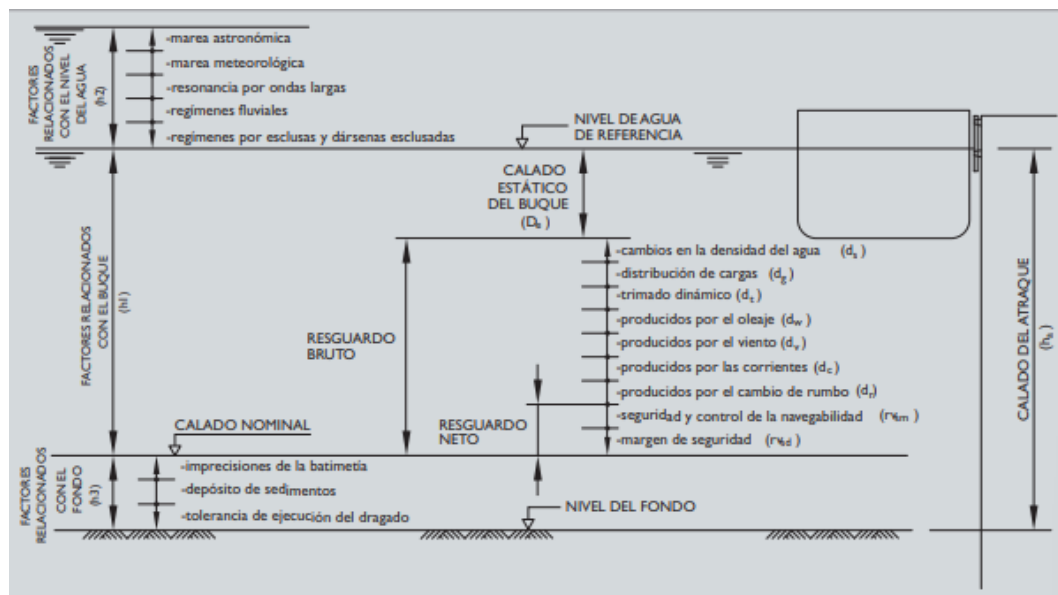


Tabla 3. Factores que inciden en la definición del calado en la línea de atraque. (Fuente: ROM 2.0-11)

La obra que se estudia, se sitúa en áreas abrigadas, y los buques a los que da servicio se caracterizan por un desplazamiento pequeño y mediano (< 10000 t).



El calado estático del buque tipo (D_e), tiene un valor de 3,6 metros. Los factores relacionados con el buque (H_1), serán de 3,78 metros y en consecuencia el calado del atraque (H_a) debe tener un valor mínimo de 4,5 metros, teniendo en cuenta los factores relacionados con el fondo.

El calado que se proyecta de 6,5 metros de profundidad, es por tanto más que suficiente para cumplir con el calado mínimo del que se debe disponer.

2.1.2. AMBIENTALES

Para los condicionantes ambientales, se desprecian los siguientes: viento, corrientes y oleaje, al encontrarse la obra en el interior del puerto y protegido de estas acciones. De igual manera, no se considera el efecto de sismo, ya que el Denia no es relevante este efecto.

Por tanto, el único condicionante ambiental que se tendrá en cuenta en el cálculo es el desfase del nivel de marea, el cual, según la ROM 2.0-11, en la tabla 3.4.2.1.1. en condiciones extremas, y por tanto más desfavorables, el nivel máximo o mínimo del nivel del mar varía 0,4 metros.

2.1.3. MATERIALES

A continuación se recogen las propiedades de los diferentes materiales que intervienen en la estabilidad de la obra de estudio.

	$\gamma^* (kN/m^3)$	$\gamma_{SAT}(kN/m^3)$	γ_{SUM}	$\phi (^\circ)$	$c' (kN/m^2)$
Agua Mar	10,3				
Arenisca	2,5			40	970
Hormigón en masa	2,3				
Pedraplén	1,8	2,1	1,1	40	0
Escollera	1,6	2,0	1,1	40	0
Relleno	1,7	2,1	1,1	30	0

Tabla 4. Propiedades de los materiales. (Fuente: Elaboración propia)

2.2. SECCIÓN TIPO PLANTEADA

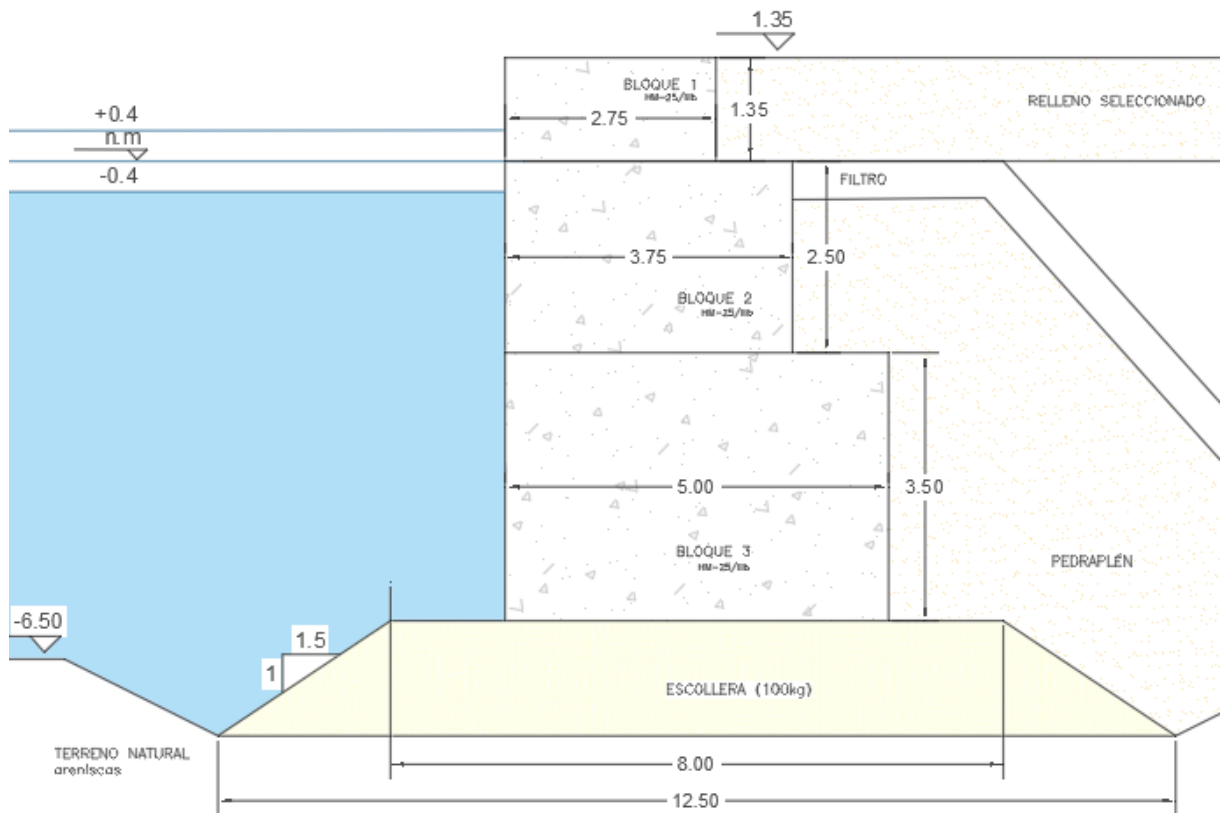


Imagen 1. Sección del muelle planteada. (Fuente: Elaboración propia)

2.3. BASES DE CÁLCULO

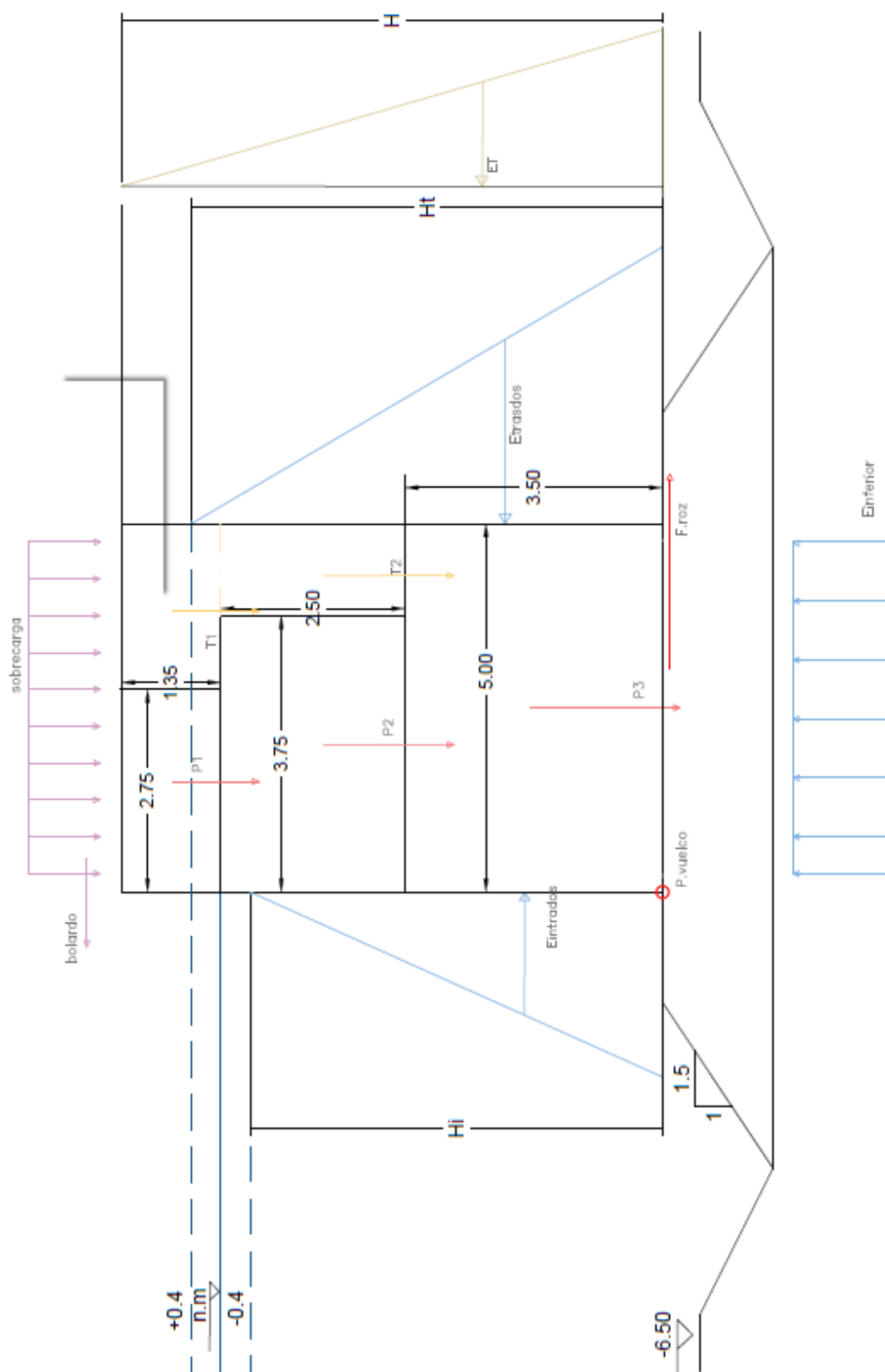


Imagen 2. Acciones actuantes en la estructura. (Fuente: Elaboración propia)

En primer lugar se calculan las fuerzas resultantes que actúan en la estructura, considerando peso propio de los bloques de hormigón, el empuje hidrostático en el trasdós, intradós y en la cara inferior de la cimentación, el empuje y peso del terreno, y las cargas de uso y explotación, las cuales son en este caso la sobrecarga y el tiro de bolardo.

Cargas permanentes

La estructura se compone por bloques de hormigón, de diferentes tamaños, los cuales se dimensionaran de tal manera que la estructura cumpla con los factores exigidos de seguridad por su peso propio.

$$\gamma \text{ hormigón} = 2,3 \text{ kN/m}^3$$

$$P1 = 2,75 * 1,35 * 2,3 = 8,53 \text{ kN/m}$$

$$P2 = 3,75 * 2,5 * 2,3 = 21,56 \text{ kN/m}$$

$$P3 = 5 * 3,5 * 2,3 = 40,25 \text{ kN/m}$$

$$P.\text{total} = P1 + P2 + P3 = 70,34 \text{ kN/m}$$

Cargas hidráulicas

Para asegurar la situación más desfavorable, se considerará el nivel del agua a la cota máxima para el caso del trasdós (n.m. +0,4 m) y para el caso extremo de mínimo nivel del mar (n.m. – 0,4 m) en el intradós del muelle.

$$\gamma \text{ agua} = 1,03 \text{ kN/m}^3$$

$$H_{\text{trasdós}} = 6,4 \text{ m}$$

$$H_{\text{intradós}} = 5,6 \text{ m}$$

$$\text{Empuje Hidrostático} = \frac{\gamma * H^2}{2}$$

$$E_{\text{trasdós}} = (1,03 * 6,4^2) / 2 = 21,1 \text{ kN/m}$$

$$E_{\text{intradós}} = (1,03 * 5,6^2) / 2 = 16,1 \text{ kN/m}$$

Para el empuje en la cara inferior de la estructura se considerará el nivel de agua máxima en ambos lados.



$$E_{\text{inferior}} = 1,03 * 6,4 * 5 = 32,96 \text{ kN/m}$$

Cargas del terreno

El relleno del trasdós del muro estará compuesto principalmente por pedraplén con un ángulo de rozamiento interno $\phi = 40^\circ$ y una cohesión $c' = 0$.

$$\gamma^* = 1,8 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{SAT}} = 2,1 \text{ kN/m}^3$$

$$C' = 0$$

$$\phi = 40^\circ$$

$$H = 7,35 \text{ m}$$

Para calcular el peso estabilizante que produce el terreno apoyado sobre los bloques que forman la estructura, se considerará el terreno ubicado bajo el n.m. como saturado.

$$T1 = (5 - 2,75) * 1,35 * \gamma^* = 5,46 \text{ kN/m}$$

$$T2 = (5 - 3,75) * 2,5 * \gamma_{\text{SAT}} = 6,56 \text{ kN/m}$$

$$T_{\text{total}} = T1 + T2 = 12,03 \text{ kN/m}^3$$

Por otro lado, para obtener el empuje del terreno se procede mediante la fórmula de Rankine, donde:

$$K_a = \frac{(1 - \sin\phi)}{(1 + \sin\phi)} = 0,21$$

$$\sigma'v = H * \gamma_{\text{SAT}} = 7,35 * 2,1 = 15,43$$

$$\sigma'a = K_a * \sigma'v = 3,24$$

$$ET = \frac{\sigma'a * H}{2} = 11,9 \text{ kN/m}$$

La fuerza de rozamiento que se produce entre la estructura de hormigón y la banquetta formada por escollera, se calculará considerando las siguientes acciones, para obtener la situación más desfavorable:

- Máximo volumen de agua desplazado
- NO sobrecarga

El valor de μ , viene dado en la ROM 0.5-05, en el apartado 3.5.5.2, procedimiento de cálculo, donde para el contacto entre hormigones prefabricados se considera un valor de 0,7.

$$\mu = \tan \phi_c = 0,7$$

$$N = (P_{\text{total}} + T_{\text{total}}) - E_{\text{desplazado}} = 49,42 \text{ kN/m}$$

$$F_{\text{roz}} = \mu * N = 34,59 \text{ kN}$$

Cargas de uso y explotación

La sobrecarga de uso, según la ROM 2.0-11, en la fase de servicio tiene un valor de 5 kN/m², para el uso náutico-deportivo.

EN LA FASE DE SERVICIO							
USOS				SISTEMAS DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS	Área operación ¹⁾		
					$q_{v,1rk}$ (kN/m ²)	H_a ³⁾ (m)	
COMERCIAL	Graneles sólidos	Ordinarios o pulverulentos		Sistemas continuos	10	1,5	
				Sistemas discontinuos	30	2,5	
		Pesados		Sistemas continuos	10	1,5	
				Sistemas discontinuos	50	2,5	
	Mercancía general	Carga convencional	Ordinaria	Sistemas discontinuos por elevación	30	2,5	
			Pesada		60	1,5	
		Contenedores		Sistemas discontinuos por elevación	20	2,5 ⁶⁾	
		Ro-Ro y Ferris		Medios rodantes	30	2,5	
				Medios rodantes + elevación			
		Multipropósito		Medios rodantes + elevación	30	2,5	
		Pasajeros	Ferris		Medios rodantes	10	1,5
					Medios rodantes + elevación	20	2,5
	Cruceros y otras			10	1,5		
PESQUERO					15	2,0	
NAÚTICO-DEPORTIVO	No accesibles al tráfico rodado				5	0,8	
	Accesibles al tráfico rodado				10	1,5	

Tabla 5. Valores de las sobrecargas en las obras de atraque y amarre. (Fuente: ROM 2-0.11)

Por otro lado, se encuentra la carga puntual de tiro de bolardo, que tendrá un valor de 5 t/m cada 6 metros.

$$\text{Sobrecarga} = 5 \text{ kN/m}^2 * 5 = 25 \text{ kN/m}$$

Tiro bolardo= 5 kN/m. Por tanto, cada metro lineal soporta:

$$\frac{2 * 0,5 * 5 + 2 * 5}{18} = 0,83 \text{ kN}$$



2.4. COMBINACION DE ACCIONES

Se calcularán las combinaciones de acciones según la ecuación fundamental, cuya fórmula es:

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

$$\Sigma F \text{ horizontales} = E_{intrados} + F_{roz} - 1,35 \cdot (E_{trasdos} + ET + 0,7 \cdot \text{bolardo}) = 5,39 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F \text{ verticales} = P_{total} + T_{total} - 1,35 \cdot E_{inferior} + 0,7 \cdot \text{bolardo} = 55,38 \text{ kN/m}$$

Los momentos producidos por cada una de las cargas sobre la estructura respecto al punto de vuelco se recogen en la siguiente tabla:

	FUERZA	DISTANCIA	MOMENTO
EST			
P1	8,53875	1,375	11,7407813
P2	21,5625	1,875	40,4296875
P3	40,25	2,5	100,625
T1	5,4675	3,875	21,1865625
T2	6,5625	4,375	28,7109375
SC	25	2,5	62,5
E _{INTRADOS}	16,1504	1,866666667	30,1474133
DESEST			
E _{TRASDOS}	21,0944	2,133333333	45,0013867
ET	11,9119613	2,45	29,1843051
E _{INFERIOR}	32,96	2,5	82,4
BOLARDO	0,83333333	7,35	6,125

Para el cálculo de B^* y L^* , ancho y largo equivalente, se debe obtener la excentricidad, e_B y e_L .

Para ello, se toman cada uno de los momentos calculados anteriormente respecto al punto de vuelco y se divide entre su respectiva fuerza, teniendo como resultante la distancia de aplicación desde el punto de vuelco.

DISTANCIA AL PUNTO DE VUELCO

	DIST. HORIZONTAL (FUERZAS VERT)	
P1	11,7407813	8,53875

P2	40,4296875	21,5625	
P3	100,625	40,25	
T1	21,1865625	5,4675	
T2	28,7109375	6,5625	
SC	62,5	25	
E _{INFERIOR}	82,4	32,96	
D. TOTAL	347,592969	140,34125	2,47676979
DIST. VERTICAL (FUERZAS HORIZ)			
E _{TRASDOS}	45,0013867	21,0944	
ET	29,1843051	11,9119613	
E _{INTRADOS}	30,1474133	16,1504	
BOLARDO	6,125	0,83333333	
D.TOTAL	110,458105	49,9900946	2,20959984

El punto céntrico de la estructura se encuentra en el punto (2,25; 3,67), respecto al punto de vuelco, por lo que la excentricidad resulta:

$$e_B = 0,02$$

$$e_L = 1,46$$

$$B^* = B - 2 \cdot e_B = 4,5 - 2 \cdot 0,02 = 4,95 \text{ m}$$

$$L^* = L - 2 \cdot e_L = 7,35 - 2 \cdot 1,05 = 4,41 \text{ m}$$

2.5. COMPROBACIONES DEL MUELLE

2.5.1. FS DESLIZAMIENTO

La fuerza horizontal que es capaz de desplazar la estructura, viene dada por la siguiente expresión:

$$H_{(rotura)} = V \operatorname{tg} \phi_c + a \cdot S + (E_p - E_a) + R_c$$

V = carga vertical efectiva.

ϕ_c = ángulo de rozamiento del contacto del elemento de cimentación con el terreno.

$$\mu = \operatorname{tg} \phi_c = 0,7$$

a = adhesión cimiento-terreno = 0

S = superficie de apoyo. $B^* \times L^*$

E_p = Empuje pasivo = 0

E_a = Empuje activo.

R_c = otras posibles resistencias.



Es frecuente y recomendable hacer una hipótesis conservadora a la hora de estimar esta fuerza resistente, suprimiendo las componentes de la resistencia debida al terreno situado por encima del nivel de cimentación ($E_p - E_a$).

$$H_{rotura} = V \operatorname{tg} \phi_c = 38,7$$
$$\Sigma F_{horizontales} = 5,4$$

$$F = \frac{H_{rotura}}{H} = 7,18 > 1,3$$

2.5.2. FS HUNDIMIENTO

La capacidad de carga frente a hundimiento se obtiene mediante la fórmula polinómica de Brinch Hansen, al resultar esta la de uso más frecuente.

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

q = sobrecarga debida al peso de tierras a la profundidad de la cimentación = 0

C = Cohesión de la escollera = 0

$\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$

$\phi = 40^\circ$

Coeficientes de capacidad de carga (Tabla 3.5.3, ROM 0.5-05): $N_q = 64,2$; $N_c = 75,3$; $N_\gamma = 106,1$.

$B^* = 4,95\text{m}$

$L^* = 4,41\text{m}$

f_q, f_c, f_γ = factores de corrección dados por la siguiente formula: $f = s^i * d^r * t$, donde:

s = forma de la cimentación

i = Inclinación de la carga

d = resistencia del terreno ubicado sobre el plano de apoyo

r = inclinación del plano de apoyo

t = pendiente del terreno en el entorno de la cimentación

El tratarse el caso de estudio de una cimentación corrida en la que $L \gg B$, sin inclinación de carga, una resistencia en la que $D > B$, sobre una superficie plana y sin pendientes en torno a la cimentación. Todos los parámetros se tomarán como 1.

La fórmula de Brinch Hansen queda por tanto de la siguiente manera:

$$p_{vh} = \frac{1}{2} 2 * 4,95 * 106,1 * 1 = 525,57 \text{ kN/m}^2$$

$$p_v = \frac{\Sigma V}{B * 1m} = 11,18 \text{ kN/m}^2$$

$$F = \frac{p_{vh}}{p_v} = 47 > 1,3$$

2.5.3. FS VUELVO

Para el calcula del factor de seguridad frente a vuelco se tomarán los momentos calculados anteriormente respecto al punto de vuelco, sin incluir la sobrecarga, ya que esta se trata de una acción estabilizadora y variable.

$$M_{res} = P1 + P2 + P3 + T1 + T2 + E_{intrados}$$
$$M_{vol} = E_{trasdos} + ET + E_{inferior} + bolardo$$

$$F = \frac{M_{res}}{M_{vol}} = \frac{232,84}{162,71} = 1,43 > 1,3$$

2.6. CONCLUSION

Como se observa, se obtienen valores superiores al mínimo factor de seguridad para cada una de las verificaciones. Por tanto el dimensionamiento y diseño que se plantea para el muelle es válido y es capaz de resistir todas las acciones que actúan sobre él.

3. RAMPA DE VARADA

Para garantizar el tránsito de las embarcaciones de vela ligera entre tierra y mar en el zona donde irá ubicada la escuela, se colocará una rampa de varada, a través de la cual las embarcaciones podrán acceder mediante medios rodados de apoyo a esta operación.

Se considera más oportuno disponer una rampa de construcción fija, al contar esta zona con espacio suficiente, ya que permitirá precisar de un menor mantenimiento y una mayor estabilidad hacia los usuarios.

Las dimensiones de esta quedarán tal y como se indica en el plano correspondiente, con pendiente del 12%, de 20 metros de largo y 24 de ancho, situada entre la salida de pluviales



y la escollera del Club Náutico. Iniciando a una cota de 1,40 m.s.n.m y finalizando en la cota -1 m de manera que se producen un salto de desnivel de 0,5 metros hasta la profundidad de la superficie existente actual.

3.1. ELEMENTOS DE APOYO

Se dispondrán a cada uno de los lados de la rampa, para apoyo en la entrada y salida de las embarcaciones de vela ligera, elementos de apoyo.

Teniendo en cuenta las características de cada tipología, así como la zona donde se van a ubicar y los usos para los que se destinan estas instalaciones, se ha decidido disponer pantalanés de tipo flotante, principalmente por la flexibilidad de cambio que estos ofrecen, y por su ahorro económico.

Así pues, la tipología de pantalan a colocar, será igual o similar al que se observa en la imagen, y dispuestos a continuación del pantalan fijo, tal y como se detalla en el plano.



Imagen 3. Pantalan flotante.

4. REFERENCIAS

Puertos del Estado, 2011. *Recomendaciones para obras marítimas. Recomendaciones para el proyecto y ejecución en obras de atraque y amarre*. Disponible en: <https://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%202.0-11.pdf> [Consultado 16-05-2022]



Puertos del Estado, 2000. *Recomendaciones para obras marítimas. Proyecto de la configuración marítima de los puertos, canales de acceso y áreas de flotación*. Disponible en: https://widispe.puertos.es/rom/storage/public/docROM/ROM%203_1-99.pdf [Consultado 17-05-2022]

Puertos del Estado, 2011. *Recomendaciones para Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias*. Disponible en: https://widispe.puertos.es/rom/storage/public/docROM/ROM%200_2-90.pdf [Consultado 25-05-2022]

Puertos del Estado, 2005. *Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias*. Disponible en: <https://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%200.5-05.pdf> [Consultado 25-05-2022]