



Anejo nº 11

MUELLES

AMPLIACIÓN SUR DEL PUERTO DEPORTIVO Y PESQUERO DE LAS CASAS DE
ALCANAR

Autor: Rubén Marín Tejadillos

Índice

1. Introducción	3
1.1. Aspectos constructivos de carácter general	3
2. Definición de acciones	4
2.1. Cargas permanentes	4
2.1.1. Peso propio de los bloques prefabricados de hormigón armado	4
2.1.2. Cargas muertas	4
2.2. Cargas variables	4
2.2.1. Cargas hidráulicas	4
2.2.2. Cargas del terreno	5
2.2.3. Cargas de uso y explotación	5
2.2.3.1. Cargas de amarres	5
2.2.3.2. Cargas de atraque	5
2.2.3.3. Sobrecargas de equipos, instalaciones y almacenamiento	5
2.2.4. Medioambientales	5
2.2.5. De deformación	5
3. Comprobaciones	6
3.1. Deslizamiento	6
3.2. Vuelco	6
3.3. Hundimiento	7
3.4. Estabilidad global	8
4. Cálculos	8
5. Viga cantil	11

Índice de imágenes

1. Imagen 1: Detalle muelle	8
-----------------------------	---

Índice de tablas

1. Tabla 1: Valores de cálculo	9
2. Tabla 2: Acciones sobre la viga cantil	9
3. Tabla 3: Equilibrio en la viga cantil	9
4. Tabla 4: Comprobaciones en la viga cantil. Deslizamiento y vuelco.	9
5. Tabla 5: Acciones sobre el muelle completo	10
6. Tabla 6: Equilibrio en el muelle	10
7. Tabla 7: Comprobaciones en el muelle. Deslizamiento y vuelco	10
8. Tabla 8: Comprobación a hundimiento	11

1. INTRODUCCIÓN

En el estudio de soluciones, se justificó la conveniencia de ejecutar un muelle de bloques prefabricados de hormigón. Según la ROM 2.0 en lo referente a esta tipología de muelles tenemos que la estructura resistente está formada por bloques de materiales pétreos o prefabricados de hormigón. Los bloques pueden ser macizos o huecos, rellenándose posteriormente con un material de préstamo granular o con hormigón. En general son paralelepípedicos, aunque a veces se construyen con planos inclinados o achaflanados en las caras de trasdós o intradós, con el objeto de reducir las presiones, o de centrar la resultante. La capacidad resistente radica en la movilización del rozamiento entre bloques, los cuales pueden o no estar solidarizados entre sí.

La geometría de la sección puede ser muy variada, pero en general puede asimilarse a formas rectangulares o trapezoidales en las que la base es del orden del 50 al 80 % de la altura. Para bloques intermedios, apoyados en otro bloque inferior, la relación base/altura anterior suele estar alrededor del 50% por razones de estabilidad. La anchura de coronación depende de la altura de la superestructura y de los elementos auxiliares a disponer sobre ella; los valores más usuales oscilan entre 1 y 4 m. El paramento de atraque es generalmente vertical, aunque la presencia de la defensa permite avanzar la base del muro entre 0.5 y 1.1 m, inclinando ligeramente el paramento o haciendo sobresalir el bloque inferior.

Como ya se comentó anteriormente, la nueva dársena está prevista para alojar embarcaciones de hasta 20 m. de eslora, que según la ROM 0.2-90 requieren un calado máximo de 3,2 m. Añadiríamos 0,8 metros de resguardo por ser la zona “abrigada sin oleaje”, según las recomendaciones de Iribarren. Finalmente añadiremos 0,5 m de resguardo ante problemas transporte de sólidos. Así pues, estableceremos un calado total de 4,5 m, manteniéndonos del lado de la seguridad.

El muelle en cuestión consta de una estructura formada por 3 bloques de hormigón apilados de 3m. 2,5 m. y 2 m. de lado respectivamente y 1,5 m. de altura, estando todo ello coronado por una la viga cantil de 1 m de altura. El conjunto reposa sobre una banqueta de escollera de 1.5 m de espesor.

1.1. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE CARÁCTER GENERAL

Conforme a la clasificación de las construcciones, de acuerdo a la “Norma de Construcción Sismorresistente”, NCSR-02, las estructuras, cuya

Muelles

destrucción por un terremoto puede ocasionar víctimas e interrumpir un servicio para la colectividad, debe considerarse de importancia normal. Conforme al artículo 1.2.3. de la citada Norma, y dado que al término municipal de Las Casas de Alcanar le corresponde, conforme al Mapa de Peligrosidad Sísmica, una aceleración básica muy baja, puede no considerarse este tipo de acciones en el diseño de la estructura.

2. DEFINICIÓN DE ACCIONES

A partir de las “Recomendaciones para Obras Marítimas. Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias” (ROM.0.2-90) se consideran las siguientes.

2.1. CARGAS PERMANENTES

2.1.1. Peso propio de los bloques prefabricados de hormigón armado

El peso propio de los bloques de hormigón, al ser de hormigón en masa se toma una densidad de 2,3 t/m³.

2.1.2. Cargas Muertas

Cargas muertas son aquellas producidas por elementos no resistentes en el sentido estructural, soportados o incluidos en la estructura, como puede ser pavimentos, instalaciones fijas o incrustaciones marinas que se adhieren con el paso del tiempo. Su valor es despreciable frente al peso propio de la estructura o las sobrecargas.

2.2. CARGAS VARIABLES

2.2.1. Cargas Hidráulicas

Se toma una distribución hidrostática de presiones, pero no se tendrán en cuenta debido a que éstas se darán en ambos lados del muelle, al considerar al terreno del trasdós también sumergido. La carrera de marea se considera despreciable y no se introducirán ningún tipo de suposiciones sobre empujes adicionales. Si que se tendrán en cuenta las subpresiones producidas en la base del muelle.

2.2.2. Cargas Del Terreno

Sólo se considera el empuje activo del terreno, según la teoría de Coulomb.

2.2.3. Cargas De Uso Y Explotación

2.2.3.1. Cargas de amarre

Se considera un tiro horizontal de amarre de 0.5 t/m², disponiendo por ello de elementos de amarres capaces de soportar 1 t/m². No se han tenido en cuenta los valores mencionados en la ROM 0.2-90, puesto que no están pensados para este tipo de instalaciones deportivas de pequeña envergadura.

2.2.3.2. Cargas de atraque

El impacto de las embarcaciones sobre el muelle no se tiene en cuenta debido a que la distancia que deben recorrer desde la entrada en el puerto y las maniobras a desarrollar, las embarcaciones llegarán con una velocidad muy pequeña al atraque. Como factor añadido para justificar la no consideración de este efecto, se puede argumentar el escaso desplazamiento de las embarcaciones.

2.2.3.3. Sobrecargas de equipos, instalaciones y almacenamiento

Equipos e instalaciones de elevación de embarcaciones: 2,0 t/m²
Estacionamiento y almacenamiento sobre la estructura: 1,5 t/m²

La ROM especifica que estas sobrecargas no se pueden superponer.

2.2.4. Medioambientales

No se consideran puesto que las obras a ejecutar se encuentran dentro de una instalación de abrigo, la carrera de marea en la zona es escasa y la posibilidad de nieve o hielo es casi nula.

2.2.5. De deformación

Son aquellas producidas por deformaciones impuestas debido a cargas de: pretensado, térmicas o reológicas. No se consideran debido son despreciables frente al resto en este caso.

3. COMPROBACIONES

La construcción de un muelle de bloques de hormigón prefabricados requiere varias comprobaciones que se detallan a continuación.

3.1. VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD FRENTE AL DESLIZAMIENTO

Para comprobar la estabilidad de la estructura frente al deslizamiento, se ha cumplir el siguiente criterio.

$$F_d = \frac{\mu \cdot V}{H}$$

$$F_d > 1,5 \text{ Cumple}$$

Siendo:

μ : Coeficiente de fricción o rozamiento

V: Suma de las fuerzas verticales actuando

H: Suma de las fuerzas horizontales actuando

3.2. VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD FRENTE AL VUELCO

Para comprobar la estabilidad de la estructura frente al vuelco, se ha cumplir el siguiente criterio.

$$F_v = \frac{M_e}{M_v}$$

$$F_v > 1,8 \text{ Cumple}$$

Siendo:

M_e : Sumatorio de los momentos estabilizadores

M_v : Sumatorio de los momentos volcadores

3.3. VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD FRENTE AL HUNDIMIENTO

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

$$F_h = \frac{P_{vhh}}{P_{vhhn}} > 2,5$$

La fórmula más usual de calcular la carga de hundimiento es mediante la conocida fórmula polinómica de Brinch-Hansen.

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

Sin embargo, en la ROM0.5-0.5 (Apartado 3.5.4.8.4) se detalla otro método para calcular que responde con mayor detalle ante el hundimiento en cimentaciones de banqueta sobre suelos cohesivos:

$$P_{vh} = p_s + i_s \cdot K \cdot \frac{H}{B'} \cdot (\gamma \cdot H + 2 \cdot q)$$

Siendo:

- ✚ P_{vh} = presión efectiva vertical que, aplicada sobre la banqueta, produciría el hundimiento.
- ✚ i_s = coeficiente de inclinación
- ✚ K = coeficiente que depende del ángulo de rozamiento correspondiente a grandes deformaciones del material de la banqueta
- ✚ γ = peso específico de la banqueta (sumergido, en su caso)
- ✚ q = sobrecarga sobre la banqueta de extensión indefinida
- ✚ p_s = presión que depende de la resistencia al corte del suelo cohesivo y que puede estimarse mediante la expresión:

$$P_s = (\pi + 2) \cdot S_u \cdot t_c + q \cdot t_q - \gamma \cdot H \cdot (1 - t_q)$$

i_q = coeficiente de inclinación para sobrecargas

i_c = coeficiente de inclinación para la resistencia al corte

S_u = resistencia al corte sin drenaje del suelo cohesivo

$$S_u(\text{equivalente}) = 3 \cdot S_{uo} \cdot \frac{2 \cdot S_{uo} + \gamma' \cdot B^* \cdot \eta}{6 \cdot S_{uo} + \gamma' \cdot B^* \cdot \eta}$$

S_{uo} = resistencia al corte sin drenaje en el plano de contacto banqueta-suelo γ' = peso

específico (sumerido en su caso) del suelo cohesivo

3.4. VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD FRENTE A LA ESTABILIDAD GLOBAL

En cuanto a la verificación frente a la estabilidad global, no es necesaria su realización, ya que el muelle es muy poco profundo y no como se ha explicado en el “Anejo 3: Estudio Geológico y Geotécnico”, se desconoce con la precisión necesaria el terreno para establecer el círculo crítico. El autor recomienda que después de realizar los estudios geotécnicos, se estudie esta verificación con programas informáticos como el Plaxis o similar.

4. CÁLCULOS

Los cálculos han sido realizados teniendo en cuenta las Recomendaciones para la Consideración de Acciones en el proyecto de Obras Marítimas y Portuarias (ROM 0.2) y las Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias (ROM 0.5) de aplicación en el presente proyecto.

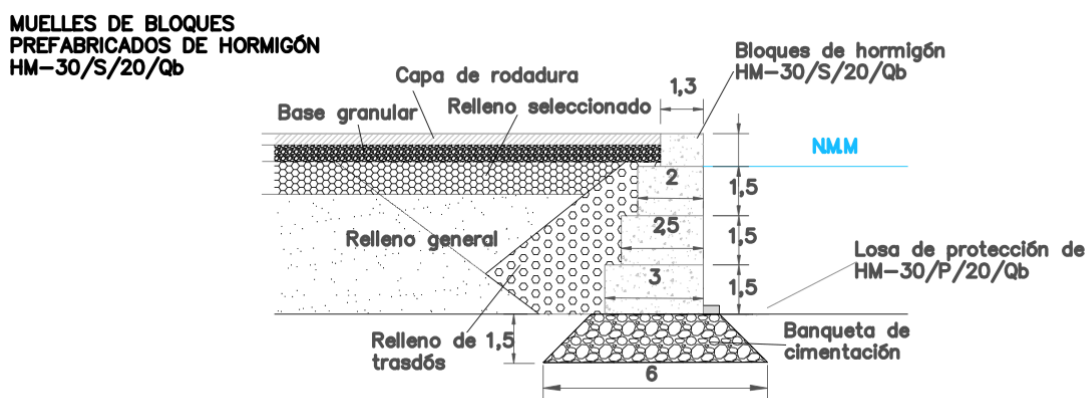


Imagen 1: Detalle muelle

- + Sobrecarga en muelle: $q=2 \text{ t/m}^2$
- + Tiro de bolardos: $t= 1 \text{ t/m}$
- + Ángulo de rozamiento interno del terreno: $\varphi= 40^\circ$
- + Coeficiente de rozamiento muro-banqueta $\mu_1=\text{tg}(31^\circ)=0,6$
- + Coeficientes de rozamiento muro-muro $\mu_2=\text{tg}(26,6^\circ)= 0,5$
- + Densidad del hormigón: $\gamma_H=2,3 \text{ t/m}^3$
- + Densidad del hormigón sumergido: $\gamma'_H=1,3 \text{ t/m}^3$
- + Densidad del pedraplén: $\gamma_p=1,9 \text{ t/m}^3$
- + Densidad del pedraplén sumergido: $\gamma'_p=1,2 \text{ t/m}^3$

- + Coeficiente de empuje de con la teoría de Coulomb, resultado según J.Calavera, $k_a = 0,18$.
- + Trasdós vertical: $\alpha = 0^\circ$
- + Superficie horizontal: $\beta = 0^\circ$
- + $\varphi = 40^\circ$
- + $\delta = 31^\circ$

Para el cálculo de los empujes, sustituiremos el trasdós quebrado por un plano vertical equivalente como indica la ROM0.5-0.5 en el apartado 3.7.3.1.

Los cálculos han sido realizados con Excel. Esto corresponde a las áreas de la sección del muelle multiplicado por su densidad en cada caso.

CÁLCULOS DE EXCEL

Valores (ROM 0.2-90):			
Tiro de bolardos		0.5	Tn/m2
Ángulo de rozamiento interno todo-uno cantera	$\varphi =$	40	$^\circ$
Ángulo de rozamiento bloque-pedraplén de base	$\psi_1 =$	26.67	$^\circ$
Ángulo de rozamiento bloque-bloque	$\psi_2 =$	26.67	$^\circ$
Coeficiente de rozamiento muro-muro	$\mu_2 =$	0.5	
Peso específico del hormigón en masa	$\gamma_H =$	2.3	Tn/m3
Peso específico del hormigón sumergido	$\gamma_H' =$	1.3	Tn/m3
Peso específico del todo-uno y pedraplén	$\gamma_P =$	1.9	Tn/m3
Índice de huecos	$e =$	0.1	
Peso específico del agua	$\gamma_w =$	1.025	Tn/m3
Peso específico saturado del terreno	$\gamma_{sat} =$	2.1	Tn/m3
Peso específico del pedraplén sumergido	$\gamma' =$	1.2	Tn/m3
Coeficiente de seguridad frente al deslizamiento	$F_d >$	1.5	
Coeficiente de seguridad frente al vuelco	$F_{vuelco} >$	2	
Resistencia al aplastamiento de pedraplén de base		3.1	Kg/cm2

Tabla 1: Valores de cálculo

VIGA CANTIL						
Empujes						
z(m)	Emp. Terreno	Sobrecarga	eah(KN/m2)	Emp. Terreno	Sobrecarga	eav(KN/m2)
0	0	3.6	3.6	0	1.8	1.8
1	3.24	3.6	6.84	1.62	1.8	3.42

Tabla 2: Acciones sobre la viga cantil

EQUILIBRIO	
Tmax	16.255
Tnec	10.22
Mest	20.6023
Mvol	7.3346

Tabla 3: Equilibrio en la viga cantil

COMPROBACIONES		
DESIZAMIENTO	1.59	CUMPLE
VUELCO ELÁSTICO EN A	2.81	CUMPLE

Tabla 4: Comprobaciones viga cantil

MUELLE COMPLETO						
CÁLCULO DE ACCIONES. EMPUJES						
z(m)	Emp. Terreno	Sobrecarga	eah(KN/m2)	Emp. Terreno	Sobrecarga	eav(KN/m2)
0	0	3.6	3.6	0	1.8	1.8
1	3.24	3.6	6.84	1.62	1.8	3.42
5.5	12.15	3.6	15.75	6.075	1.8	7.875

Tabla 5: Acciones sobre el muelle completo

EQUILIBRIO	
Tmax	126.225
Tnec	61.0475
Mest	405.925425
Mvol	220.15085

Tabla 6: Equilibrio en el muelle

COMPROBACIONES		
DESIZAMIENTO	1.81	CUMPLE
VUELCO ELÁSTICO EN A	1.84	CUMPLE

Tabla 7: Comprobaciones en el muelle

HUNDIMIENTO		
Presión efectiva vertical de hundimiento	Pvh	339.93556
	Ps	308.032353
	is	1
	K	3.54480085
	H	1.5
	B*	3
	γ	12
	q	0
Coefficiente de inclinación	is	1
	tg delta	0
	delta rad	0
	delta grados	0
Coefficiente de material de la banqueta	K	3.54480085
	tg3(Ro)	0.59080014
	Ro rad	0.6981317
	Ro grados	40
Peso específico de la banqueta	γ	12
Carga de extensión de la banqueta	q	0
Presión en función de la resistencia al corte	ps	308.032353
	Su	59.9099099
	ic	1
	iq	1
Coefficiente de inclinación sobrecargas	iq	1
	α	0.66995489
	tg delta	0
Coefficiente de inclinación resistencia al corte	ic	1
	x	0
	tg delta	0
	Su (equivalente)	59.9099099
	Suo	50
	n	1
	γsuelo	11
Presión vertical realmente aplicada	Pv	88.7579167
	V	266.27375
	B*	3
	L*	1

COMPROBACIÓN		
HUNDIMIENTO	3.83	CUMPLE

Tabla 8: Comprobación a hundimiento

5. VIGA CANTIL

La estructura del cantil está constituida por una viga de hormigón de 1,3 m de anchura con 1 m de altura, coronando a la cota +1 m.

En el presente *Anejo* se ha comprobado la estabilidad a vuelco y deslizamiento de dicha viga. En el caso de puertos comerciales, donde el tiro de bolardo son del orden de 80 toneladas y superiores, se obtiene un valor de la longitud mínima de la viga cantil, según la estabilidad a vuelco y deslizamiento.



Sin embargo, en el caso de puertos deportivos, donde el tiro de bolardo es de 1 tonelada, para quedarnos del lado de la seguridad, si podemos comprobar la estabilidad al vuelco y al deslizamiento en una sección, como si en cada tramo del muelle se produjese un tiro de bolardo de esa magnitud. Por lo tanto, la longitud de la viga cantil vendrá determinada por facilidades constructivas, y no por lo anterior.