

ANEJO 3

CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL MUELLE

Estudio de soluciones de las obras de atraque y reordenación interior del puerto de Jávea
(Alicante).

ÍNDICE

1. OBJETO	5
2. DIMENSIONAMIENTO DEL MUELLE	6
2.1. Características del muelle.....	6
2.2. Características de los materiales	7
2.1.1. MATERIALES DE LA ESTRUCTURA.....	7
2.1.2. MATERIALES DEL RELLENO	8
2.1.3. OTROS DATOS	8
2.3. SIMPLIFICACIONES Y CONSIDERACIONES	8
2.3.1. Primera Simplificación	9
2.3.2. Segunda Simplificación	9
2.4. Acciones a considerar	10
2.4.1. CARGAS PERMANENTES	11
2.4.2. CARGAS VARIABLES.....	13
3. COMPROBACIONES GEOTÉCNICAS	18
3.1. Introducción	18
3.2. Verificaciones necesarias en un muelle de gravedad	18
3.3. Verificación de la seguridad frente a deslizamiento	19
3.4. Verificación de la seguridad frente al vuelco	19
3.5. Verificación de la seguridad frente al hundimiento	20
3.6. Verificación frente a la estabilidad global	21
3.7. Verificación de las tensiones transmitidas al terreno.....	21
3.8. Erosión interna del trasdós	21
3.9. Socavación del pie del intradós	22
4. CÁLCULOS	23
4.1. Punto A.....	23
4.2. Punto B.....	24
4.3. Punto C	25
4.4. Punto D	26
5. CONCLUSIONES	28

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Imagen 1. Geometría del muelle de gravedad. Fuente: Elaboración propia.	7
Imagen 2. Primera simplificación. Fuente: ROM 0.2-90.	9
Imagen 3. Segunda simplificación. Fuente: ROM 0.2-90.	10
Imagen 4. Mapa de aceleración sísmica en España. Fuente: NCSE-02.	10
Imagen 5. Esquema de pesos propios en el muelle. Fuente: Elaboración propia.....	11
Imagen 6. Plano de rotura del terreno. Teoría de Coulomb. Fuente: ROM 0.2-90	14
Imagen 7. Equilibrio en la cuña de terreno. Teoría de Coulomb. Fuente: ROM 0.2-90.	14
Imagen 8. Esquema del empuje de tierras. Fuente: Elaboración propia.	15
Imagen 9. Carga de la subpresión en el muelle. Fuente: Elaboración propia.	16
Imagen 10. Sobrecarga mínima de uso actuante en el muelle. Fuente: Elaboración propia.	17
Imagen 11. Cargas de amarre, según la Tabla 3.4.2.3.4.8. Fuente: ROM 0.2-90.	17
Imagen 12. Modos de fallo geotécnicos en muelles de gravedad. Fuente: ROM 0.5-05.	19
Imagen 13. Tabla de los tamaños de escollera en función de la velocidad del agua en el entorno del muelle. Fuente: ROM 0.5-05.	22

1. OBJETO

La misión principal del presente anejo es definir los cálculos necesarios para dimensionar el nuevo muelle para embarcaciones de gran eslora. Como se puede observar, se utilizará un muelle de bloques prefabricados de hormigón por su facilidad constructiva. El muelle estará situado en el trasdós del dique principal de Jávea.

Teniendo en cuenta los requerimientos de calado y demás dimensiones obtenidas en anejos anteriores y atendiendo a las normas correspondientes, las Recomendaciones para Obras Marítimas, se procederá a realizar un cálculo completo de la estabilidad del mismo, así como de las acciones que sobre la estructura actúan.

Asimismo, se definirán totalmente los materiales a utilizar, de vital importancia en este tipo de muelles de gravedad, así como las dimensiones finales tanto de cada uno de los bloques como de la altura, calado y longitud del muelle.

2. DIMENSIONAMIENTO DEL MUELLE

2.1. Características del muelle

El muelle a realizar seguir  la tipología estructural de muelle de gravedad por bloques prefabricados de hormigón.

Este muelle se construir  sobre el trasdós del ya existente dique del puerto de Jávea, que tiene 530 m de longitud. No obstante, nuestro muelle dispondrá de 275 m de longitud realizándose en la parte interior del puerto. Para ello, los rellenos a realizar se ejecutarán sobre la escollera ya existente, quedando de este modo enterrada. En la Imagen 1 podemos observar con más detalle el acabado final del muelle.

En la base, se dispondrá una banqueta de escollera de 1,5 m de espesor, que servirá de apoyo continuo y estable para los bloques de hormigón. Como se ha determinado en *Anejo 2 "Determinación en planta y alzado de ..."*, la profundidad requerida en el muelle será de 5,5 m para poder realizar así las operaciones de atraque con seguridad. Se realizará por tanto un dragado hasta la cota -7 m, colocando posteriormente los 9 metros de ancho y 1,5 m de espesor de banqueta a lo largo de todo el muelle.

En cuanto a los bloques, serán de hormigón armado y prefabricados en central. Se dispondrán un total de 3 bloques en el siguiente orden: en la base, el más grande con 2,75 metros de altura y 4,0 metros de ancho, a continuación uno del mismo espesor con 3,5 m de ancho, para finalizar y ya por encima del nivel del mar, un bloque de 1,5 m de espesor y 2,0 m de ancho.

En la coronación, se acabar  la estructura de hormigón con una viga cantil de 1,5 m de ancho y 0,5 m de espesor, destinada a alojar en su interior todas las conducciones necesarias en el muelle. De esta forma, quedaría finalizado el trasdós del muelle, teniendo una estructura escalonada de bloques.

En cuanto a los rellenos, se utilizarán 5 tipos de material diferentes: la Escollera, para formar esa capa uniforme de apoyo que antes se ha mencionado, con rocas de entre 50 y 100 kg de peso, el Pedrapl n, colocado en el trasdós de los bloques, cuya función es otorgar una buena resistencia al relleno constituyendo la base del muelle, el Todo-Uno, material de características menos competentes cuya función es otorgar de peso a la estructura y servir de base a las capas más competentes (con rocas de no menos de 5 kg), la Capa de Filtro, cuya función es homogeneizar las capas del Pedrapl n y el Todo-Uno, con tamaños intermedios para garantizar una correcta progresión, el relleno Seleccionado, una capa con muy buenas características que se dispondrá en la coronación de la estructura para aportar buena capacidad portante a la superficie que crearemos.

ANEJO 3

Estudio de Soluciones de las Obras de Atraque y Reordenación Interior del Puerto de Jávea

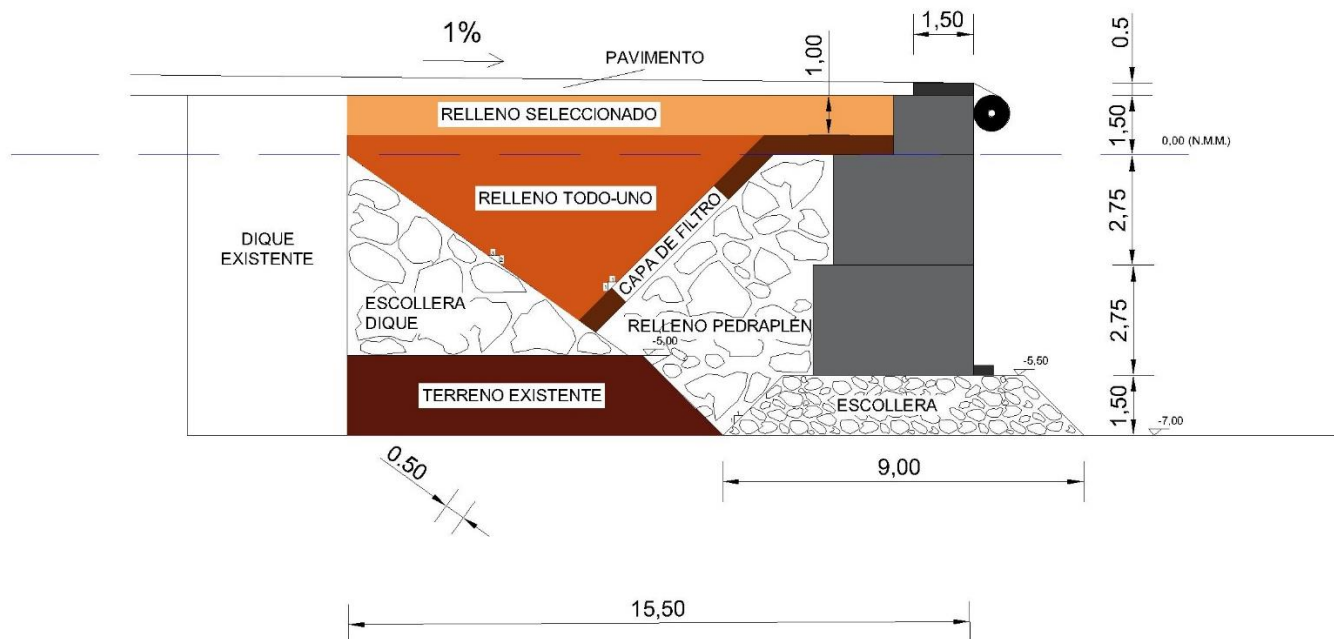


Imagen 1. Geometría del muelle de gravedad. Fuente: Elaboración propia.

2.2. Características de los materiales

Para la determinación de las características de los materiales, se elaborará una lista determinando el peso específico así como otros datos que sean determinantes a la hora de realizar los cálculos de estabilidad del muelle. Para ello se aludir  a la normativa correspondiente para el diseño de obras de atraque, la ROM 0.2-90 "Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias". En esta norma, se encuentra la Tabla 3.4.1.1.2 "Pesos específicos unitarios o aparentes, y porosidades usuales en elementos constructivos y estructurales", a partir de la cual se realiza el siguiente resumen con los materiales que intervendrán en la obra. Cabe añadir que también se tomarán algunos datos de la ROM 0.5-05 "Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias", quedando finalmente el siguiente resumen:

2.1.1. MATERIALES DE LA ESTRUCTURA

- Hormigón:
 - Resistencia característica $f_{ck} = 30 \text{ N / mm}^2$
 - Consistencia *Blanda*
 - Tamaño máximo del árido *20 mm*
 - Ambiente *IIIb + Qb*
 - Elementos marinos sumergidos
 - Elementos marinos a eros *IIIa*
 - Tipo de cemento *SR-MR*
 - Peso específico
 - Hormigón en masa $\gamma_{HM} = 2,3 \text{ t / m}^3$
 - Hormigón armado $\gamma_{HA} = 2,5 \text{ t / m}^3$
 - Hormigón sumergido $\gamma_{HM}' = 1,3 \text{ t / m}^3$

ANEJO 3

Estudio de Soluciones de las Obras de Atraque y Reordenación Interior del Puerto de Jávea

- Acero corrugado (armaduras pasivas):
 - Tipo B500-S
 - Límite elástico $f_{yk} = 500 \text{ N / mm}^2$

2.1.2. MATERIALES DEL RELLENO

- Relleno seleccionado en trasdós
 - Peso específico seco $\gamma_P = 1,70 \text{ t / m}^3$
 - Peso específico saturado $\gamma_{Psat} = 2,10 \text{ t / m}^3$
 - Peso específico sumergido $\gamma_P' = 1,17 \text{ t / m}^3$
 -  ngulo de rozamiento interno $\Phi_p = 40^\circ$
- Resistencia al aplastamiento del pedraplén de base $3,1 \text{ kg / cm}^2$
- Escollera de la banqueta
 - Peso específico seco $\gamma_B = 2,00 \text{ t / m}^3$
 - Peso específico saturado $\gamma_{Bsat} = 2,20 \text{ t / m}^3$
 - Peso específico sumergido $\gamma_B' = 1,17 \text{ t / m}^3$
 -  ngulo de rozamiento interno $\Phi_p = 40^\circ$
 - Peso $50 - 100 \text{ kg}$
-  ngulo de rozamiento hormigón-hormigón $\delta_1 = 35^\circ$
-  ngulo de rozamiento hormigón-banqueta $\delta_1 = 32^\circ$
-  ngulo de rozamiento terreno-trasdós $\delta_1 = 15^\circ$
- Coeficiente de rozamiento hormigón-hormigón $\mu_1 = \text{tg}(\delta_1) = \text{tg}(35) = 0.7$
- Coeficiente de rozamiento hormigón-pedraplén de base $\mu_2 = \text{tg}(\delta_2) = \text{tg}(32) = 0.625$
- Inclinación del paramento del muelle $\alpha = 90^\circ$
- Inclinación de la superficie del terreno $\beta = 0$

2.1.3. OTROS DATOS

- Peso específico del agua marina $\gamma = 1.03 \text{ t / m}^3$
- Peso específico agua común $\gamma = 1.00 \text{ t / m}^3$

2.3. SIMPLIFICACIONES Y CONSIDERACIONES

Los bloques de los que se compone el muelle, serán prefabricados y se armar n en taller mediante mallazos de acero corrugado (de las características que se han indicado anteriormente). La función que va a cumplir este armado no es tanto estructural si no de acabado, para que en caso de sufrir algún golpe de una embarcación, no sufra grandes fisuras conservando así un aspecto visual ideal. No obstante, se realizaran todos los cálculos pertinentes suponiendo que los bloques son de hormigón en masa que, por tener un peso inferior, dejar  los cálculos del lado de la seguridad. Además, en caso de futuros cambios de uso, este refuerzo de armado permitirá que se puedan llevar a cabo acciones de carga y descarga de buques comerciales o pesqueros.

Siguiendo la ROM 0.2-90 "Recomendaciones de Acciones al proyectar una Obra Marítima y Portuaria, y más concretamente en el apartado "Simplificaciones para el cálculo de empujes activos en estructuras de contención de gravedad", se considerará:

2.3.1. Primera Simplificación

Para el cálculo de la estructura de contención como cuerpo rígido, a vuelco y deslizamiento, el empuje total podrá determinarse según la metodología expuesta, pero actuando sobre un trasdós virtual vertical AB que pasa por el extremo inferior del trasdós de la estructura; y tomando un valor del Ángulo de rozamiento terreno/trasdós virtual (δ) igual a 15, con independencia del tipo estructural.

Dicha consideración se fundamenta en que la masa de tierra que gravita sobre la estructura analizada se moviliza, gira o desliza, conjuntamente con ella:

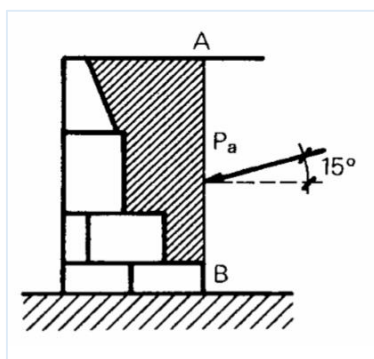


Imagen 2. Primera simplificación. Fuente: ROM 0.2-90.

2.3.2. Segunda Simplificación

Cuando un relleno de buena calidad (relleno seleccionado: Ángulo de rozamiento interno superior o igual a 30) sea utilizado en el trasdós de una estructura de contención por gravedad, siendo la superficie del mismo horizontal, podrán adoptarse en el cálculo las siguientes simplificaciones:

- Si la sección tipo del relleno seleccionado es triangular a partir de la línea de intersección entre la vertical que pasa por el extremo del trasdós de la estructura resistente y la superficie del terreno, formando un Ángulo con la horizontal igual o menor que el Ángulo de rozamiento interno del material de relleno seleccionado (ϕ'), podrá considerarse para el cálculo de empujes que todo el terreno situado en el trasdós de la estructura resistente tiene idénticas características que el relleno.

ANEJO 3

Estudio de Soluciones de las Obras de Atraque y Reordenación Interior del Puerto de Jávea

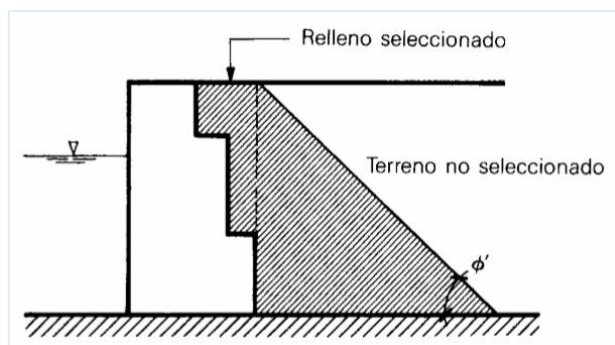


Imagen 3. Segunda simplificación. Fuente: ROM 0.2-90.

Por otra parte, también es necesario citar que, conforme a la clasificación de las construcciones de acuerdo con la NCSE-02 “Norma de Construcción Sismorresistente”, las estructuras cuya destrucción por un terremoto puede ocasionar víctimas e interrumpir un servicio para la colectividad, debe considerarse de importancia normal. Según el Artículo 1.2.3 de la misma norma, puede no considerarse este tipo de acciones en el diseño de la estructura por encontrarse la población de Jávea en una zona de aceleración muy baja, como observamos en el Mapa de Peligrosidad S mica.

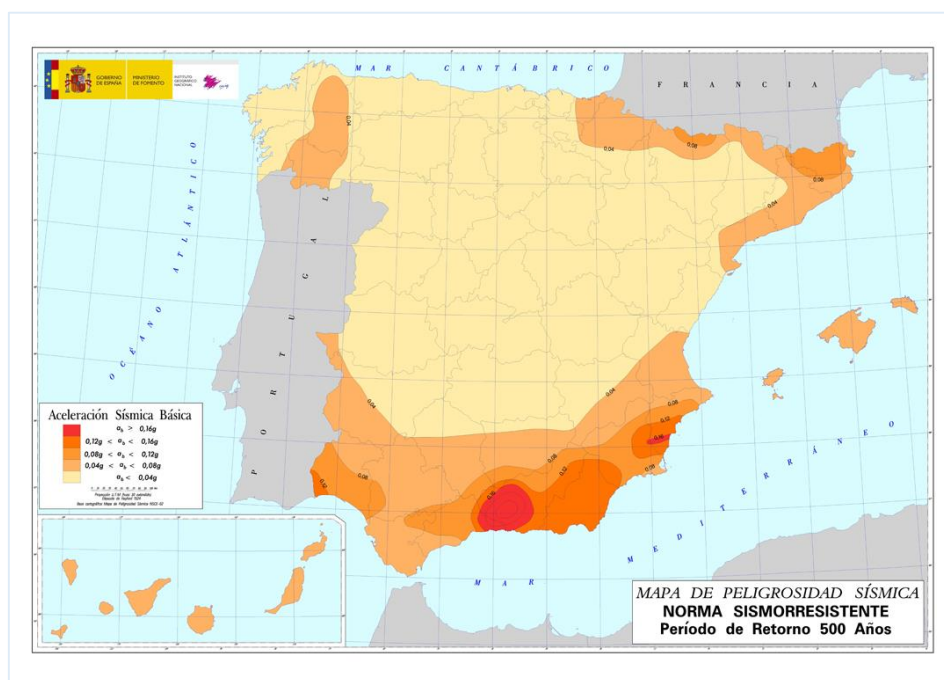


Imagen 4. Mapa de aceleración s mica en España. Fuente: NCSE-02.

2.4. Acciones a considerar

A partir de la ROM 02-90 ya nombrada anteriormente, podemos considerar las siguientes acciones:

2.4.1. 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 aqu ellas cuya variación tenga lugar en un solo sentido hasta alcanzar un cierto valor límite.

- PESO PROPIO:

Los elementos que más peso van a aportar a la estructura son los bloques prefabricados, que como antes aclaramos, los consideraremos de hormigón en masa y por tanto con un peso específico de $2,3 \text{ t/m}^3$.

Por otra parte, también se considerará el peso de terreno que se encuentra encima de los bloques, el cual ayudará a resistir las solicitaciones del muelle. Para simplificar los cálculos, se tratar  a dicho terreno como si fuera todo del tipo pedraplén en toda la altura de la sección. En la Imagen 5 se observa el esquema a seguir:

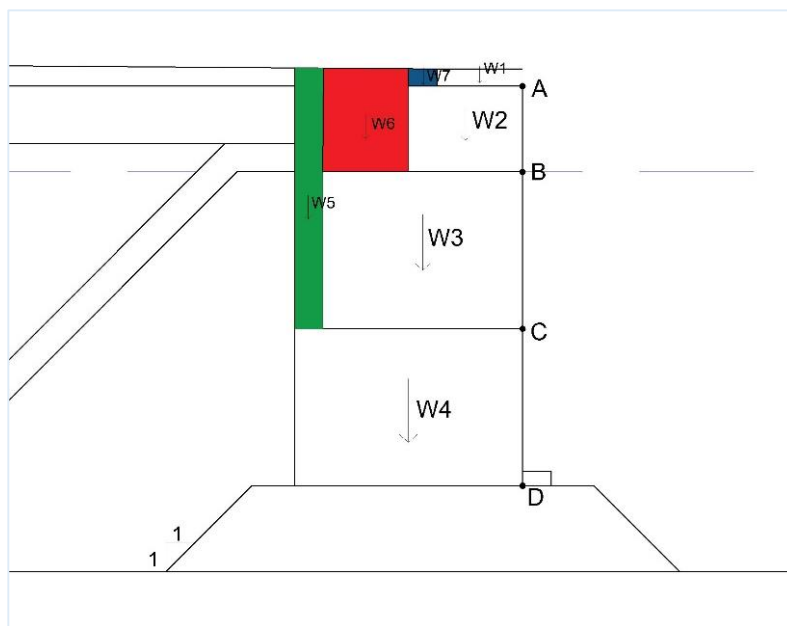


Imagen 5. Esquema de pesos propios en el muelle. Fuente: Elaboración propia.

➤ PUNTO A:

$$PESO PROPIO EN A = PPA = W_1 = \gamma_{HM} * \text{área viga cantil} = 2,3 * 9,81 * (0,5 * 1,5)$$

$$PPA = 16,90 \frac{kN}{m}$$

ANEJO 3

Estudio de Soluciones de las Obras de Atraque y Reordenación Interior del Puerto de Jávea

➤ PUNTO B

$$PPB = PPA + W_2 + W_7$$

$$W_2 = Y_{HM} * \text{área bloque 1} = 2,3 * 9,81 * (2,0 * 1,5) = 67,69 \frac{kN}{m}$$

$$W_7 = Y_p * \text{Columna de terreno 1} = 1,7 * 9,81 * (0,5 * 0,5) = 2,50 \frac{kN}{m}$$

$$PPB = 16,90 + 67,69 + 4,17$$

$$PPB = 88,76 \frac{kN}{m}$$

➤ PUNTO C

$$PPC = PPB + W_3 + W_6$$

$$W_3 = Y_{HM'} * \text{área bloque 2} = 1,3 * 9,81 * (3,5 * 2,75) = 122,75 \frac{kN}{m}$$

$$W_6 = Y_p * \text{Columna de terreno 2} = 1,7 * 9,81 * (1,5 * 2,0) = 50,03 \frac{kN}{m}$$

$$PPC = 88,76 + 122,75 + 50,03$$

$$PPC = 261,54 \frac{kN}{m}$$

➤ PUNTO D

$$PPD = PPC + W_4 + W_5$$

$$W_4 = Y_{HM'} * \text{área bloque 3} = 1,3 * 9,81 * (4 * 2,75) = 140,28 \frac{kN}{m}$$

$$W_5 = Y_{p'} * \text{Columna de terreno 3 sumergido} + Y_p * \text{Columna de terreno 3 seco} = 1,17 * 9,81 * (2,75 * 0,5) + 1,7 * 9,81 * (2,0 * 0,5) = 15,78 + 16,68 = 32,46 \frac{kN}{m}$$

$$PPD = 261,54 + 140,28 + 32,46$$

$$PPD = 434,28 \frac{kN}{m}$$

- CARGAS MUERTAS

Las cargas muertas que se podrían considerar en el muelle, como el mobiliario urbano, el pavimento, algún tipo de grúa en un futuro, instalaciones de servicios fijas, o incrustaciones marinas adheridas, son despreciables teniendo en cuenta el elevado peso del muelle, por lo tanto, quedan fuera de las consideraciones a realizar.

2.4.2. 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.

- CARGAS DE CONSTRUCCIÓN

Son cargas transitorias asociadas específicamente al proceso de ejecución y puesta en obra del elemento resistente., debidas a grúas pesadas que puedan intervenir, acopios de material, diferentes estados de equilibrio de la estructura, etc. Dependen en su totalidad del proceso constructivo, y en este caso, se pueden despreciar dada la sencillez del mismo y de la estructura.

- CARGAS MEDIOAMBIENTALES

Se definen como cargas medioambientales aquellas cargas debidas a la actuación directa sobre la estructura resistente o sobre elementos no estructurales que incidan sobre ella, de fenómenos naturales, climáticos o medioambientales. En este caso, se pueden despreciar dichas acciones, ya que la obra se va a encontrar en una zona abrigada, lo que supondr  un oleaje suave, una carrera de marea nula (Mar Mediterráneo), la escasez de corrientes marinas y un riesgo de heladas casi nulo.

- CARGAS DE DEFORMACIÓN

Las cargas de deformación son aquellas producidas por un estado de deformaciones impuesta. Se pueden dividir en 4 tipos: de pretensado, reológicas, térmicas y por movimientos impuestos. El efecto de la deformación se puede considerar despreciable en la estructura y además, su estudio resulta de gran complejidad, por lo que se opta en no considerarlo.

- CARGAS DEL TERRENO

La masa de terreno y pavimento existente en el trasdós del muelle, ejercerá un empuje activo sobre el trasdós vertical del muelle, el cual será determinante en las comprobaciones de equilibrio de la estructura. Como ya se ha mencionado, en el empuje del cálculo de tierras se considerará que el relleno actuante es Pedrapl n en su totalidad, por simplificar los cálculos.

A continuación, se va a calcular el empuje siguiendo la Teoría de Coulomb. En esta teoría, se calcula el empuje activo E_a por equilibrio de fuerzas en la cuña de terreno formada en un estado límite de rotura.

ANEJO 3

Estudio de Soluciones de las Obras de Atraque y Reordenación Interior del Puerto de Jávea

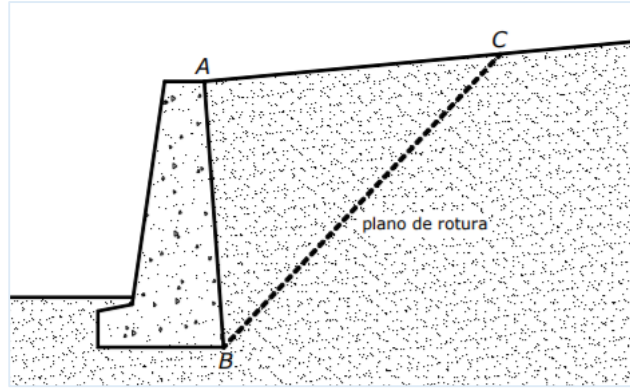


Imagen 6. Plano de rotura del terreno. Teoría de Coulomb. Fuente: ROM 0.2-90

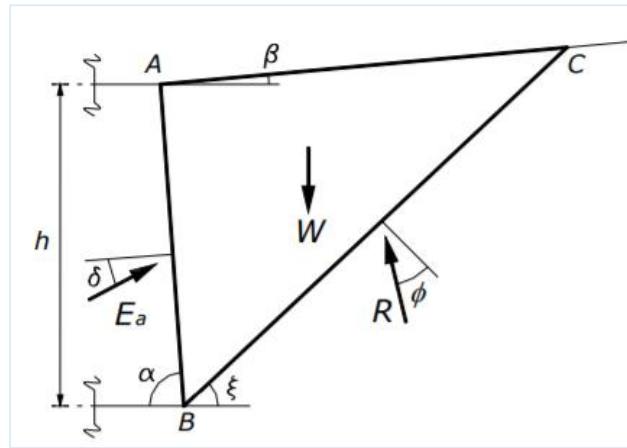


Imagen 7. Equilibrio en la cuña de terreno. Teoría de Coulomb. Fuente: ROM 0.2-90.

$$E_a = f(Y, \alpha, \delta, \beta, h, \dots): \begin{cases} E_a = K_a * Y * h \\ E_{ah} = K_{ah} * Y * h \\ E_{av} = K_{av} * Y * h \end{cases}$$

$$K_{ah} = \frac{\sin^2(\alpha + \Phi)}{\sin^2\left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\alpha + \delta) * \sin(\Phi - \beta)}{\sin(\alpha + \delta) * \sin(\alpha + \beta)}}\right)}$$

$$K_{ah} = \frac{\sin^2(90+40)}{\sin^2\left(1 + \sqrt{\frac{\sin(40+15) * \sin(40-0)}{\sin(90+15) * \sin(90+0)}}\right)} = 0,1942$$

ANEJO 3

Estudio de Soluciones de las Obras de Atraque y Reordenación Interior del Puerto de Jávea

$$K_{av} = \cot(\alpha - \delta) * K_{ah}$$

$$K_{av} = \cot(90 - 15) * 0,1942 = 0,052$$

Quedando del siguiente modo la ley de empujes (referenciaremos ahora la altura h con una z , ya que trabajaremos con profundidades):

$$Ea = \sqrt{0.1942^2 + 0.052^2} * \gamma * z = 0.201 * \gamma * z$$

- $0 \leq z \leq 2,0 \text{ m}$

$$Ea(z) = 0.201 * 1.70 * 9,81 * z$$

$$Ea(z) = 3,352z \text{ kPa}$$

- $z \geq 2,0 \text{ m}$

$$Ea(z') = K_a * (\gamma' * (z - z_0) + \gamma * z_0)$$

$$Ea(z') = 0.201 * 9.81 * (1.17 * (z - z_0) + 1.70 * z_0)$$

$$Ea(z') = 1,045z_0 + 2,310z$$

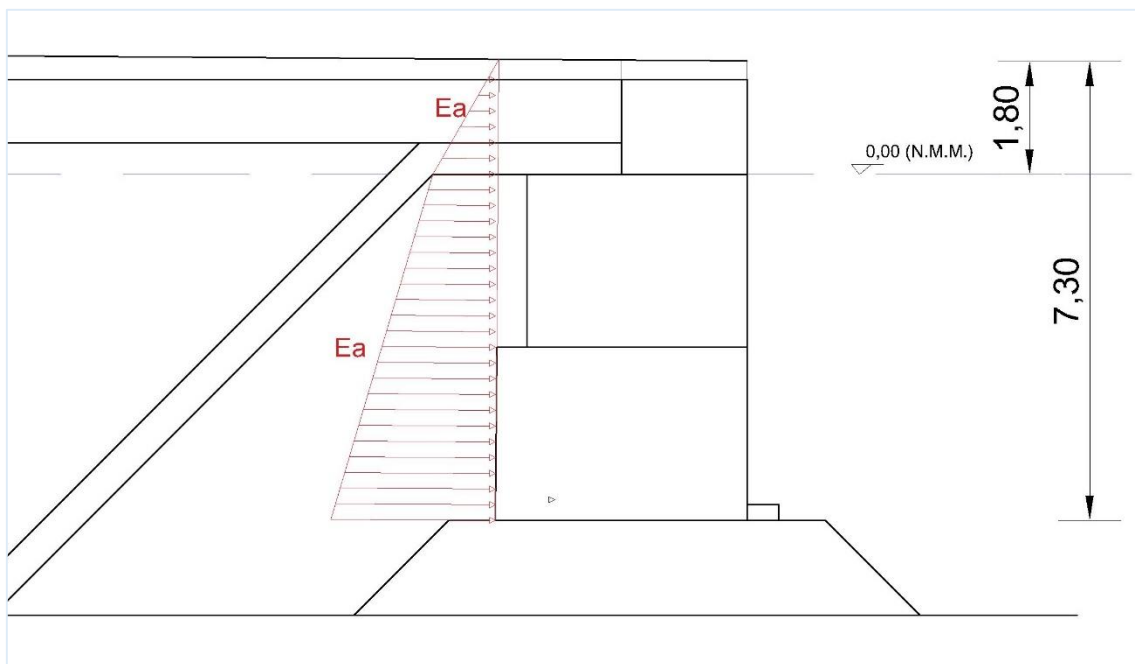


Imagen 8. Esquema del empuje de tierras. Fuente: Elaboración propia.

- CARGAS HIDRÁULICAS

Puesto que nuestra obra se encuentra en el Mar Mediterráneo, la carrera de mareas se puede considerar nula, por lo tanto, se considerará el nivel freático a la misma altura que el nivel del mar. En cuanto a las cargas horizontales debidas a la lámina de agua, se supondrán iguales en ambos lados de la estructura, es decir, de resultante nula.

ANEJO 3

Estudio de Soluciones de las Obras de Atraque y Reordenación Interior del Puerto de Jávea

No obstante, es necesario calcular la subpresión que actúa en la base del mayor bloque, de carga constante y con el siguiente valor:

$$p = \gamma * g * z$$
$$p = 1,03 * 9,81 * 5,5$$
$$\mathbf{p = 55,57 \text{ kPa}}$$

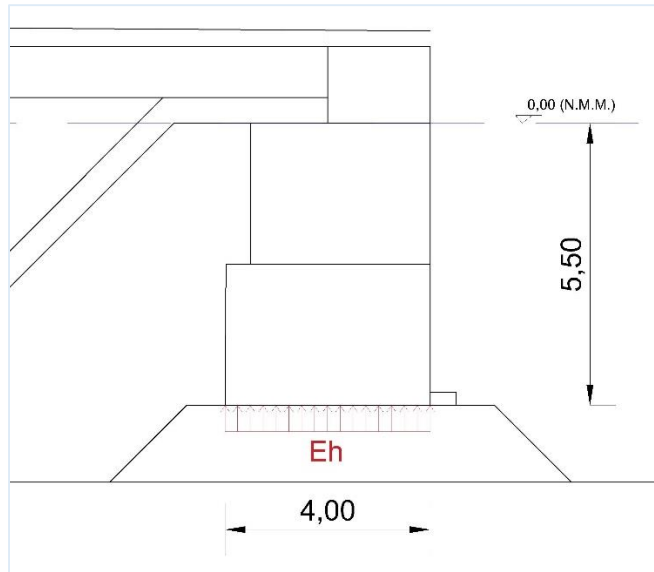


Imagen 9. Carga de la subpresión en el muelle. Fuente: Elaboración propia.

- CARGAS DE USO O EXPLOTACIÓN

El muelle a calcular pertenece al ámbito de la náutica de recreo, es decir, que en él no se realizarán acciones relacionadas con la manipulación de mercancías (que incluyen pesos de materiales y de maquinaria) ni relacionadas con el sector pesquero. Por lo tanto, quedando siempre del lado de la seguridad, se considerará una sobrecarga mínima.

Para el cálculo de la misma sobre nuestra estructura, se considerará una carga E_{sc} actuante en la vertical del muelle, calculada de la siguiente manera:

$$E_{sc} = \lambda * q_2 * \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$$
$$E_{sc} = 0,344 * 5 * \frac{\sin 90}{\sin(90 + 0)}$$
$$\mathbf{E_{sc} = 1,72 \text{ kPa}}$$

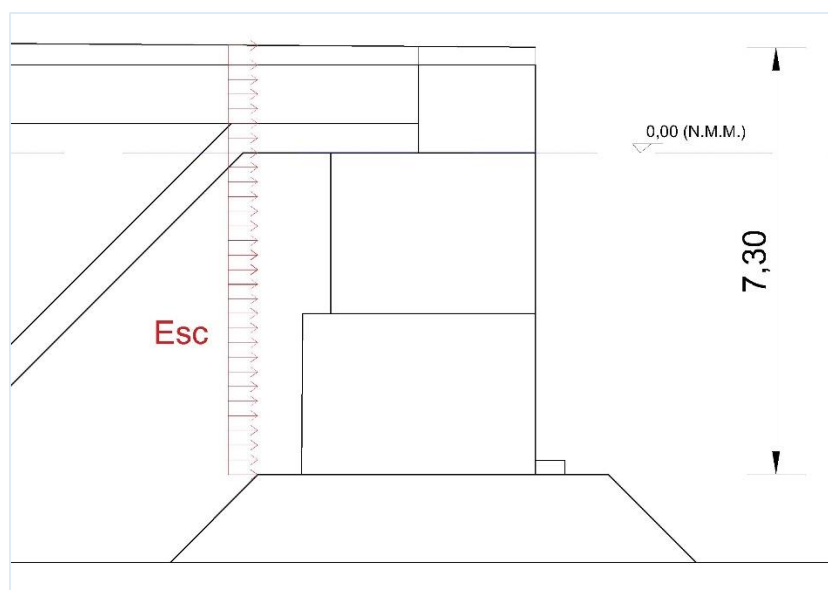


Imagen 10. Sobrecarga mínima de uso actuante en el muelle. Fuente: Elaboración propia.

- TIRO DE BOLARDO

Al estar las embarcaciones amarradas en horizontal, aparecerán unas cargas puntuales producidas por las tensiones generadas entre las maromas y los bolardos, que consideraremos horizontales (posición más desfavorable) y que según la ROM 0.2-90 serán:

TABLA 3.4.2.3.5.8 CARGAS DE AMARRE PARA BUQUES DE HASTA 20.000 t DE DESPLAZAMIENTO.			
DESPLAZAMIENTO (en t)	CARGAS DE AMARRE (en t)		
	En bolaro o gancho de escape rápido	En bita	En roldana (*)
Hasta 2.000	10	10	20
2.000 ~ 10.000	30	15	50
10.000 ~ 20.000	60	30	100
(*) Se entiende por roldana el dispositivo en polea que devuelve desde tierra la amarra al buque para su sujeción o tensionado.			

Imagen 11. Cargas de amarre, según la Tabla 3.4.2.3.4.8. Fuente: ROM 0.2-90.

No obstante, se va a considerar un tiro horizontal de amarre de 0,5 t/m, disponiendo por ello de elementos de amarre capaces de soportar 1 t/m. No se han tenido en cuenta los valores mencionados anteriormente puesto que no están pensados para este tipo de instalaciones deportivas de poca envergadura. Por tanto consideramos que la carga de amarre que debe soportar el muelle es $Q_{tb} = 5 \text{ KN/m}$.

3. COMPROBACIONES GEOTÉCNICAS

3.1. Introducción

Cada tipología de obra marítima tiene, desde el punto de vista geotécnico, ciertas singularidades. En este caso se trata de una estructura de atraque, específicamente un muelle de gravedad, que soporta un importante desnivel de tierras de trasdós a intradós conformado por bloques prefabricados de hormigón.

El elemento que determinará la viabilidad de esta solución es el terreno natural. Los muelles de gravedad, dado su carácter, han de transmitir presiones elevadas al cimientó; los suelos blandos, por lo tanto, no suelen ser aptos para soportar estos muelles.

El reconocimiento del terreno para proyectar este tipo de obras es por tanto fundamental. Es necesario conocer todas las características necesarias del terreno como la resistencia y la deformabilidad en la zona donde se situará la obra. Además, el reconocimiento del terreno debe estar encaminado al estudio del posible dragado. Este puede ser necesario para conseguir el calado requerido o para preparar el cimientó, eliminando los suelos superficiales, como ocurre en este caso.

Sin embargo, cada muelle tiene unos condicionantes propios que obligarán al proyectista al realizar tantos estudios como sean necesarios para asegurar el buen comportamiento frente a todos los posibles fallos previsibles.

3.2. Verificaciones necesarias en un muelle de gravedad

Para la consecución de una estructura estable deberemos realizar una serie de comprobaciones teóricas, estudiadas ya en Fase de Proyecto. En la *ROM 0.5-05*, encontramos una lista de los posibles fallos en Estado Límite último para los que la estructura debe estar preparada. Por lo tanto, se realizarán las siguientes comprobaciones:

- Verificación de la seguridad frente al deslizamiento en el contacto hormigón-banqueta de apoyo
- Verificación de la seguridad frente al deslizamiento del contacto de la banquetta de apoyo y el terreno natural
- Verificación de la seguridad frente al hundimiento
- Verificación de la seguridad frente al vuelco plástico
- Verificación de la seguridad frente a la estabilidad global
- Verificación de la seguridad frente a la erosión interna del trasdós
- Verificación de la seguridad frente a la socavación del pie del intradós

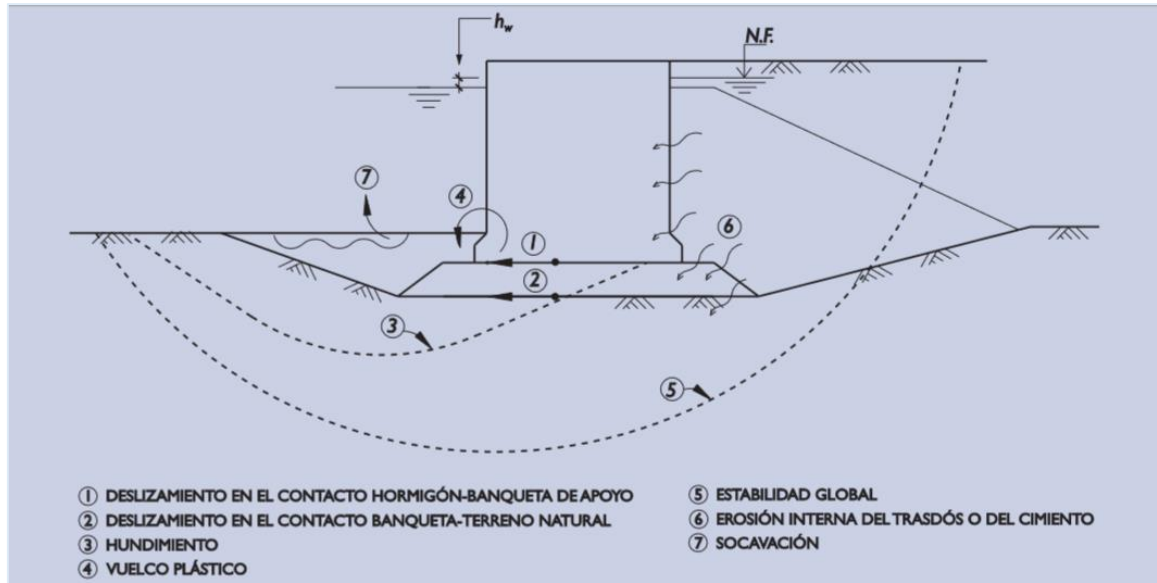


Imagen 12. Modos de fallo geotécnicos en muelles de gravedad. Fuente: ROM 0.5-05.

3.3. Verificación de la seguridad frente a deslizamiento

La seguridad frente a deslizamiento de la estructura será considerada suficiente si se cumple el siguiente criterio:

$$CSD = \frac{\mu \cdot \sum F_V}{\sum F_H} \text{ si } CSD \geq 1,5$$

Siendo:

- μ : Coeficiente de fricción o rozamiento
- F_V : Fuerzas verticales
- F_H : Fuerzas horizontales

3.4. Verificación de la seguridad frente al vuelco

Para comprobar la estabilidad de la estructura frente al vuelco, cumpliremos con la siguiente condición:

$$CSV = \frac{\sum M_e}{\sum M_v} \text{ si } CSV \geq 1,5$$

Siendo:

- M_e : Momentos estabilizadores

- M_v : Momentos volcadores

Para distinguir los momentos volcadores de los estabilizadores, seguiremos el criterio establecido por la ROM 0.5-05 que textualmente argumenta:

“Cada acción individual será descompuesta en dos direcciones una vertical y otra horizontal. Se consideraran como fuerzas estabilizadoras todas las componentes verticales de las acciones, ya sea su momento de uno u otro signo (la subpresión, por ejemplo, será una fuerza estabilizadora negativa). El posible empuje pasivo que se pueda oponer al vuelco, también será contabilizado como estabilizador. El resto de las componentes horizontales se contabilizarán, con su signo correspondiente, en el cálculo de la suma de momentos volcadores”

3.5. Verificación de la seguridad frente al hundimiento

La estructura cumplir  con los requisitos de seguridad mínimos frente al hundimiento si se cumple el siguiente criterio:

$$CSH = \frac{P_{vh}}{P_v} \text{ si } CSH \geq 2,5$$

Siendo:

- P_{vh} : Carga de hundimiento
- P_v : Carga media transmitida al terreno, calculada según:

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

Para el cálculo de la carga de hundimiento, se utilizará la fórmula de Brinch-Hansen que queda definida en la ROM 0.5-05:

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

Sin embargo, puesto que nuestro relleno se trata de un terreno granular – siendo la cohesión nula ($c = 0$) – y que la sobrecarga debida al peso de tierras también es nula ($q = 0$), la fórmula se puede simplificar en la siguiente:

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

Siendo:

- Y = Peso específico del material de la banqueta
- B' = Ancho efectivo de la cimentación ($B' = B - 2 * e$)
- $N_\gamma = 2 * (N_q - 1) * \tan \phi$

$$N_q = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} * e^{\pi * \tan \phi}$$

$$\text{➤ } f_\gamma = s_\gamma * i_\gamma * d_\gamma * r_\gamma * t_\gamma$$

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

$$i_\gamma = \text{coeficiente de inclinación} = (1 - \tan \delta)^3$$

$$d_\gamma = \text{efecto de la resistencia del terreno en el plano de cimentación} = 1$$

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

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

3.6. Verificación frente a la estabilidad global

Siguiendo el *apartado 3.8* de la *ROM 0.5-05*, en el que se analiza la rotura según superficies que engloben todo el muelle, quedarían comprobados los requisitos mínimos de seguridad.

No obstante, en este caso no es necesaria dicha verificación de estabilidad global, ya que el muelle es poco profundo y no tenemos los datos suficientes sobre el terreno de la zona como para establecer un estudio detallado.

3.7. Verificación de las tensiones transmitidas al terreno

En este apartado se comprobarán dos limitaciones tensionales necesarias para la estabilidad global:

- *Tensión máxima para evitar el aplastamiento de la banqueta de escollera:*

$$\sigma_{máx} = \frac{\sum F_v}{B} + \frac{6 * e * \sum F_v}{B^2} < 300 \text{ kPa}$$

- *Tensión mínima para comprobar que no existen tracciones en la base del muelle asegurando así que el hormigón no fisura:*

$$\sigma_{máx} = \frac{\sum F_v}{B} + \frac{6 * e * \sum F_v}{B^2} > 0$$

3.8. Erosión interna del trasdós

Puesto que el agua está en contacto con la estructura y además, se encuentra en continuo movimiento (corrientes marinas, movimientos debidos a las hélices de los barcos, oleaje,...), se pueden provocar arrastres de materiales en zonas críticas como la banqueta, el trasdós o incluso los cimientos del propio muelle.

Estudio de Soluciones de las Obras de Atraque y Reordenación Interior del Puerto de Jávea

La seguridad de la estructura frente a estos procesos no puede ser calculada ni cuantificada mediante cálculos empíricos, por lo tanto, se llevará a cabo un control periódico de estos posibles daños para que no provoquen un fallo de estabilidad.

3.9. Socavación del pie del intradós

Las corrientes inducidas por las embarcaciones deportivas son suficientemente pequeñas como para que el peso de la escollera de la banqueta, de un peso nominal de 50kg, sea suficiente. El tamaño medio de 25cm es capaz de resistir corrientes superiores a los 2m/s, según la siguiente tabla, obtenida en la ROM:

U_b (m/s)	D_{50} (m)
1	0.05
2	0.20
3	0.40
4	0.70
5	1.10
6	1.60

Imagen 13. Tabla de los tamaños de escollera en función de la velocidad del agua en el entorno del muelle. Fuente: ROM 0.5-05.

4. CÁLCULOS

Los cálculos se han realizado atendiendo a todo lo expuesto anteriormente y teniendo en cuenta tanto la ROM 0.5-05 "Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias" como la ROM 0.2-90 "Recomendaciones de Acciones al proyectar una Obra Marítima y Portuaria", ambas de aplicación en este proyecto.

Para las comprobaciones de estabilidad, nos pondremos en la situación más desfavorable en cada caso, resultando de este modo dos posibles combinaciones.

La primera combinación, se tendrán en cuenta todas las cargas actuando simultáneamente. Esta situación será utilizada en la comprobación de la seguridad frente a vuelco y deslizamiento. Además, también se utilizará en la verificación de las tensiones transmitidas al terreno.

En la segunda combinación, se tendrán en cuenta todas las cargas actuando simultáneamente excepto las cargas hidráulicas. Esta situación será la más desfavorable para comprobar la seguridad frente a hundimiento, puesto que el agua actúa en dirección contraria a las cargas gravitatorias.

Los cálculos han sido realizados en una hoja de cálculo y todos ellos están presentados por metro lineal de muelle. A continuación se muestran los resultados para cada uno de los cuatro puntos, agrupados en forma de tablas.

4.1. Punto A

ACCIONES			
VERTICALES		HORIZONTALES	
Peso propio (kN)	16,9	Empuje de Tierras (kN)	0,152
Hidráulicas (kN)	0	Sobrecarga (kN)	0,516
		Tiro de bolardo (kN)	5

MOMENTOS			
ESTABILIZADORES		VOLCADORES	
Mpp (kNm)	12,675	Msc (kNm)	0,077
		Mhd (kNm)	0
		Mter (kNm)	0,015
		Mtb (kNm)	5

ANEJO 3

Estudio de Soluciones de las Obras de Atraque y Reordenación Interior del Puerto de Jávea

COMPROBACIONES			
Seguridad frente a deslizamiento		Seguridad frente a vuelco	
$\sum F_v \text{ (kN)}$	16,9	$\sum M_v \text{ (kN)}$	5,093
μ	0,7	$\sum M_e \text{ (kN)}$	12,675
$\sum F_H \text{ (kN)}$	5,668	CSV	2,49
CSD	2,09	CSV mínimo	1,5
CSD mínimo	1,5	Resultado	Cumple
Resultado	Cumple		

4.2. Punto B

ACCIONES			
VERTICALES		HORIZONTALES	
Peso propio (kN)	88,76	Empuje de Tierras (kN)	5,430
Hidráulicas (kN)	0	Sobrecarga (kN)	3,1
		Tiro de bolardo (kN)	5

MOMENTOS			
ESTABILIZADORES		VOLCADORES	
Mpp (kNm)	88,032	Msc (kNm)	2,790
		Mhd (kNm)	0
		Mter (kNm)	3,258
		Mtb (kNm)	12,5

ANEJO 3

Estudio de Soluciones de las Obras de Atraque y Reordenación Interior del Puerto de Jávea

COMPROBACIONES			
Seguridad frente a deslizamiento		Seguridad frente a vuelco	
$\sum F_V (kN)$	88,76	$\sum M_V (kN)$	18,548
μ	0,7	$\sum M_e (kN)$	88,032
$\sum F_H (kN)$	13,530	CSV	4,75
CSD	4,59	CSV mínimo	1,5
CSD mínimo	1,5	Resultado	Cumple
Resultado	Cumple		

4.3. Punto C

ACCIONES			
VERTICALES		HORIZONTALES	
Peso propio (kN)	261,41	Empuje de Tierras (kN)	25,190
Hidráulicas (kN)	0	Sobrecarga (kN)	7,826
		Tiro de bolardo (kN)	5

MOMENTOS			
ESTABILIZADORES		VOLCADORES	
Mpp (kNm)	440,685	Msc (kNm)	17,804
		Mhd (kNm)	0
		Mter (kNm)	48,995
		Mtb (kNm)	26,25

COMPROBACIONES			
Seguridad frente a deslizamiento		Seguridad frente a vuelco	
$\sum F_V (kN)$	261,41	$\sum M_V (kN)$	93,049
μ	0,7	$\sum M_e (kN)$	440,685
$\sum F_H (kN)$	38,016	CSV	4,74
CSD	4,81	CSV mínimo	1,5
CSD mínimo	1,5	Resultado	Cumple
Resultado	Cumple		

ANEJO 3

Estudio de Soluciones de las Obras de Atraque y Reordenación Interior del Puerto de Jávea

4.4. Punto D

➤ COMBINACIÓN 1 (Todas las cargas actuando simultáneamente)

ACCIONES			
VERTICALES		HORIZONTALES	
Peso propio (kN)	434,28	Empuje de Tierras (kN)	73,661
Hidráulicas (kN)	222,24	Sobrecarga (kN)	12,556
		Tiro de bolardo (kN)	5

MOMENTOS			
ESTABILIZADORES		VOLCADORES	
Mpp (kNm)	843,632	Msc (kNm)	45,829
		Mhd (kNm)	0
		Mter (kNm)	190,369
		Mtb (kNm)	39

COMPROBACIONES			
Seguridad frente a deslizamiento		Seguridad frente a vuelco	
$\sum F_v (kN)$	212,04	$\sum M_v (kN)$	275,199
μ	0,7	$\sum M_e (kN)$	843,632
$\sum F_H (kN)$	91,217	CSV	3,07
CSD	1,63	CSV mínimo	1,5
CSD mínimo	1,5	Resultado	Cumple
Resultado	Cumple		

➤ COMBINACIÓN 2 (Todas las cargas actuando excepto la Hidráulica)

ACCIONES			
VERTICALES		HORIZONTALES	
Peso propio (kN)	434,28	Empuje de Tierras (kN)	73,661
Hidráulicas (kN)	0	Sobrecarga (kN)	12,556
		Tiro de bolardo (kN)	5

ANEJO 3

Estudio de Soluciones de las Obras de Atraque y Reordenación Interior del Puerto de Jávea

MOMENTOS			
ESTABILIZADORES		VOLCADORES	
Mpp (kNm)	843,632	Msc (kNm)	45,829
		Mhd (kNm)	0
		Mter (kNm)	190,369
		Mtb (kNm)	39

COMPROBACIONES			
Seguridad frente a hundimiento		Tensiones transmitidas al terreno	
$\sum F_v (kN)$	434,28	$\sum F_v (kN)$	434,28
B'	3,885	$\sigma_{máx} (kN/m^2)$	117,917877
N_Y	106,05	Resultado	Cumple
f_Y	0,611	$^*\sigma_{m�n} (kN/m^2)$	102,831948
$P_{vh} (kN/m^2)$	1444,459073	Resultado	Cumple
$P_v (kN/m^2)$	108,57		
CSH	13,30440336		
CSH mínimo	2,5		
Resultado	Cumple		

*La tensión mínima se ha calculado con la combinación 1, por ser la más desfavorable en esta comprobación.

5. CONCLUSIONES

Para el dimensionamiento de este muelle, se ha elegido la tipología de Muelle de Gravedad por ser una de las más económicas a la par que por su simplicidad como obra marítima. Además, en nuestro caso, al construir sobre un talud de escollera ya existente, otras opciones como un muelle de cajones o de pilotes, podría haber dificultado considerablemente la realización de la obra.

Siguiendo la *ROM 0.5-05* y la *ROM 0.2-90*, de aplicación para la tipología de obra, se ha dimensionado la estructura y comprobado su estabilidad frente a los posibles fallos de ELU. Como se puede comprobar en los resultados, la estabilidad de la obra está asegurada con creces.

Asimismo, por la metodología de cálculo seguida, en el caso de que se tuvieran que cambiar las dimensiones de los bloques (por algún problema con el fabricante, etc.), el cálculo de los mismos llevaría unos minutos.

Este nuevo muelle dará lugar a un aumento de las plazas de aparcamiento, una zona de ocio en pleno puerto de Jávea (paseo marítimo), una referencia para el turismo náutico y 5 nuevos amarres para Yates de gran eslora, específicamente, de hasta 40 metros. Igualmente, servirá (junto a las demás obras) para mejorar sustancialmente la organización del mismo puerto, haciéndolo más seguro y eficiente.

