

ANEJO 11: CÁLCULOS

ANTEPROYECTO DE MUELLE DE CRUCEROS Y ESTACIÓN MARÍTIMA EN EL PUERTO DE
DENIA (ALICANTE)

Elena Cascant López

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 5

2. CARACTERÍSTICAS PREVIAS..... 5

3. COMBINACIÓN DE ACCIONES..... 6

 3.1 HORMIÓN ARMADO 6

 3.2 COMPROBACIONES GEOTÉCNICAS 7

4. CALCULO DE LA ESTRUCTURA 7

 4.1 PILOTES..... 7

 4.1.1 Dimensionamiento 7

 4.1.2 Comprobaciones 8

 4.1.2.1 comprobación frente a hundimiento 8

 4.1.2.2 comprobación frente a rotura horizontal del terreno 8

 4.1.2.3 comprobación frente a erosión del talud..... 9

 4.1.2.4 comprobación frente a deslizamiento superficial del talud 9

 4.1.2.5. comprobación frente al equilibrio global 9

 4.1.2.6 comprobación frente a socavaciones..... 10

 4.1.3 Ejecución 10

5. COMPOSICIÓN DEL MUELLE 10

1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se van a realizar los cálculos para el dimensionamiento de los pilotes, y la descripción constructiva en la obra de ampliación del muelle, siguiendo la normativa vigente.

Para el desarrollo del anejo se han seguido las siguientes normas y recomendaciones:

- Instrucción de hormigón estructural E.H.E.-o8
- Norma de construcción sismo resistente NCSE-02
- Recomendaciones para Obras Marítimas ROM
- PG-3

2. CARACTERÍSTICAS PREVIAS

Como ya hemos presentado, la finalidad de este anteproyecto es de reestructurar el frente portuario de la ciudad de Denia, y para ello, una de las actuaciones principales es la ampliación del muelle existente. Para ello, se aprovechará el tacón existente, y se extenderá hasta el antiguo varadero, cubriéndolo por completo.

Tal y como se ha descrito en el anejo 10, el muelle a realizar será plataforma sobre pilotes.

La cimentación del muelle se compondrá de los propios pilotes como cimentación profunda, y la cimentación superficial serán los estribos.

Para la construcción del talud se dispondrá una capa de escollera, una de filtro de material granular, y el relleno de suelo seleccionado.

La viga cantil, junto a las vigas de menor sección, y las de atado formaran el forjado unidireccional de la plataforma. Sobre este entramado se colocarán las losas alveolares pretensadas prefabricadas.

Los valores que se utilizan para los cálculos son los siguientes:

Peso específico agua dulce	10 kN/m³
Peso específico agua de mar	10,25 kN/m³
Peso propio del hormigón	25 kN/m³
Sobrecarga Uso maquinaria (tren carga B5 ROM)	2,5 t/ m³
Sobrecarga de Operaciones de Buques (ROM)	30 t por amarre
Coefficiente dilatación térmica hormigón α (ROM)	10 ⁻⁵ m/m°C
Coefficiente dilatación térmica acero α (ROM)	1,2*10 ⁻⁵ m/m°C
Deformación por retracción del hormigón (zona mediterránea ROM)	0,35 mm/m
Aceleración sísmica básica en Valencia	0,06
Coefficiente adimensional de riesgo	1
Velocidad del agua al pie del dique	0,63 m/s

En el anejo 4, se han obtenido los siguientes valores del terreno que se precisarán para el cálculo de los pilotes:

Terreno	Espesor (m)	Peso específico (kN/m³)	Cohesión (kPa)	Angulo rozamiento (º)	qu (kPa)
Arenas limosas	3,2	21,58	0	30	117,6
Arcillas arenosas	1,8	19,62	196	-	392
Limos arenosos	7,7	21,58	0	30	117,6

3. COMBINACIÓN DE ACCIONES

3.1 HORMIÓN ARMADO

La instrucción de Hormigón estructural EHE-o8 indica los coeficientes de seguridad a aplicar para las acciones tanto en los Estados Límites Últimos (ELU) como en los Estados Límites de Servicio (ELS). Estos coeficientes son los siguientes:

Tipo de acción	Situación persistente o transitoria		Situación accidental	
	E. Favorable	E. Desfavorable	E. Favorable	E. Desfavorable
Permanente γ_G	1	1,35	1	1
Pretensado γ_P	1	1	1	1
Permanente de valor no constante γ_{G^*}	1	1,5	1	1
Variable γ_Q	0	1,5	0	1
Accidental γ_A	-	-	1	1

Tabla 1: Coeficientes de seguridad para ELU

Tipo de acción		E. Favorable	E. Desfavorable
Permanente γ_G		1	1
Pretensado γ_P	Armadura pretesa	0.95	1,05
	Armadura postesa	0,9	1,1
Permanente de valor no constante γ_{G^*}		1	1
Variable γ_Q		0	1

Tabla 2: Coeficientes de seguridad para ELS

Las combinaciones de acciones a seguir en ELU son las siguientes:

- Situación permanente o transitoria:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} * G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} * G_{k,j}^* + \gamma_P * P_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \Psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

- Situación accidental:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} * G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} * G_{k,j}^* + \gamma_P * P_k + \gamma_A * A_k + \gamma_{Q,1} * \Psi_{1,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \Psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

Las combinaciones de acciones a seguir en ELU son las siguientes:

- Combinación característica:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} * G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G*,j} * G_{k,j}^* + \gamma_P * P_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \Psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

- Combinación frecuente:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} * G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G*,j} * G_{k,j}^* + \gamma_P * P_k + \gamma_{Q,1} * \Psi_{1,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \Psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

- Combinación cuasi-permanente:

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} * G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G*,j} * G_{k,j}^* + \gamma_P * P_k + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \Psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

Siendo los coeficientes de combinación los siguientes: $\Psi_0 = 0,70$, $\Psi_1 = 0,50$,

$\Psi_2 = 0,30$

3.2 COMPROBACIONES GEOTÉCNICAS

La Recomendación de Obras Marítimas (ROM) nos indica los siguientes coeficientes de ponderación para comprobar el modo de fallo geotécnico en ELU.

Se resumen en la siguiente tabla:

Acción	Favorable	Desfavorable
Permanente	1	1
Sobrecarga	0	1,3

Tabla 3: coeficientes de ponderación para comprobar el modo de fallo geotécnico en ELU

Los factores de seguridad mínimos que se deben cumplir, se obtienen de la tabla 3.6.1. de la ROM 0,5-05, y son los siguientes:

Tipo de combinación	Coeficientes de seguridad
Cuasi-permanente, F ₁	2,5
Fundamental, F ₂	2,5
Accidental o sísmica, F ₃	2

Tabla 4: Coeficientes de seguridad mínimos recomendados

4. CALCULO DE LA ESTRUCTURA

4.1 PILOTES

4.1.1 Dimensionamiento

Para dimensionar los pilotes, primero definiremos su geometría (diámetro y longitud de los pilotes). La separación que habrá entre ejes de pilotes será como mínimo de tres veces el diámetro de los mismos para que se considere que trabajan como pilotes aislados.

Los pilotes que se van a utilizar serán prefabricados, ya que la puesta en obra es mucho más sencilla que si se ejecutan in situ. Esto implica que los pilotes serán de base cuadrada, ya que son los que se encuentran disponibles en el mercado, y variarán entre los 200 y los 400 mm de lado. Se tomarán como diámetros equivalentes los siguientes valores, dependiendo de la resistencia:

Por fuste: $D_e = \frac{1}{\pi} \times p_t$

Por base: $D_e = \sqrt{A_p \times \frac{4}{\pi}}$

Siendo p_t : perímetro de la sección del pilote, y A_p : área de la sección del pilote.

Para que los pilotes cimenten en la capa de limos arenosos, los pilotes deberán tener entre 15 y 20 m de largura.

Según la ROM, se calcula el diseño de pilotes a corto plazo en combinación fundamental (será la más desfavorable). Los cálculos se realizarán para el pilote que se sitúa en la línea de muelle (será, también, el más desfavorable).

Cálculo de la carga de hundimiento según diámetro y longitud basados en la ROM:

lado (m)	Longitud del pilote (m)					
	15	16	17	18	19	20
0,3	641,991	660,989	682,723	707,193	734,398	764,339
0,35	759,841	782,006	807,363	835,910	867,650	902,581
0,4	853,283	904,930	933,909	966,535	1002,808	1042,729

Tabla 5 : cargas admisibles del pilote

Con la carga admisible se debe comprobar la seguridad frente a hundimiento, que según la ROM se cumple cuando:

$$F = \frac{Q_{hi}}{N_i + W_i} \geq F_{min}$$

Siendo: F: coeficiente de seguridad frente a hundimiento

N_i : carga vertical sobre cada pilote

W_i : peso efectivo exento al pilote

Q_{hi} : carga de hundimiento del pilote

F_{min} : coeficiente de seguridad

Operando, y suponiendo un número de pilotes por cuchillo, y una separación, se calcula la carga mínima de hundimiento, y se comprueba para las distintas opciones de lado-largura cuál cumple con las condiciones de seguridad (carga de hundimiento mayor a la carga de hundimiento mínima).

De los distintos valores válidos que se obtienen como resultado, se ha elegido la siguiente:

5 pilotes por cuchillo, con 3,75m de separación entre cuchillos. Los pilotes de sección cuadrada serán de lado 0,4m y de largo 20 m.

4.1.2 Comprobaciones

Se deben de verificar los Estados límites Últimos para los diferentes modos de fallo geotécnico que contempla la ROM.

Estos fallos son:

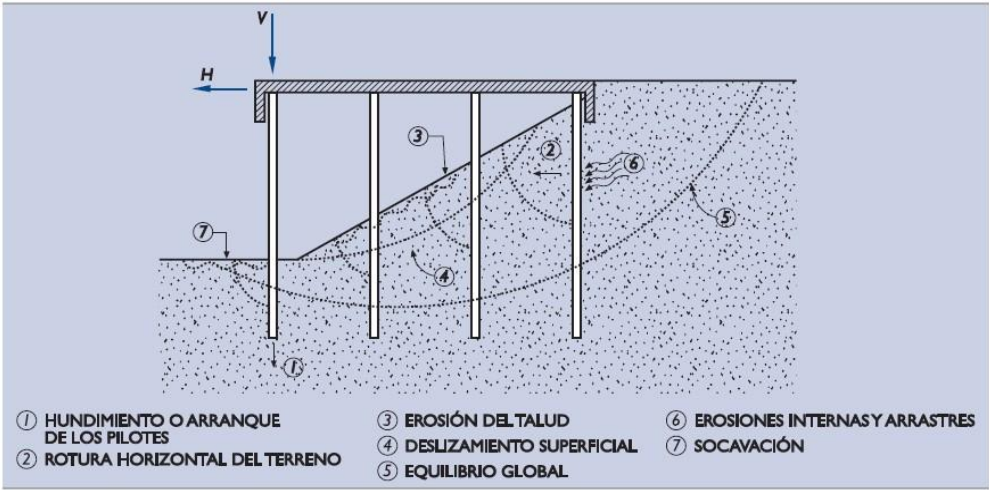


Figura : modos de fallo geotécnico en muelles de pilotes

4.1.2.1 comprobación frente a hundimiento

La comprobación frente a hundimiento ya se ha verificado con tal de dimensionar los pilotes, por tanto, la comprobación es válida.

4.1.2.2 comprobación frente a rotura horizontal del terreno

Los empujes que ejerce un barco al atracar y al amarrar, producen unas cargas horizontales muy grandes.

En el cálculo somero del anteproyecto se considerará solamente la carga de amarre, de 30 toneladas (294,2 kN), y se deberá cumplir la siguiente expresión:

$$F_{rot\ h} = \frac{\sum_i^n H_{rot}}{H} \geq F_{min}$$

Siendo: H_{rot} : resistencia a la rotura de cada pilote

H : fuerza total actuante sobre el ancho del muelle (cada cuchillo)

F_{min} : coeficiente mínimo para rotura (1,6 según ROM)

En el apartado 3.6.8 de la ROM, encontramos el procedimiento para calcular la resistencia a la rotura de cada pilote. Obtenemos como resultado:

$$H_{rot} = 65 \cdot \gamma \cdot k_p \cdot D^3 = 383,5 \text{ kN}$$

$$\sum_i^n H_{rot} = 5 \cdot 383,5 = 1917,5 \text{ kN}$$

Por tanto, la carga de rotura de cálculo es de 1198,4375 kN, y se puede verificar la seguridad frente a la rotura horizontal del terreno.

4.1.2.3 comprobación frente a erosión del talud

La finalidad del manto de escollera es de proteger de la posible erosión del talud que causa el agua que se encuentra junto al muelle.

Para verificar la estabilidad del manto, se utiliza la fórmula de Hudson:

$$W = \frac{\gamma_s \times H_d^3}{K_D \times \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 \times \cotg \alpha}$$

Siendo: W: peso de los bloques de protección (300 kg)

γ_s : peso específico de los elementos de protección (2,7 kN/m³)

H_d : altura de la ola de proyecto (1,5 m)

K_D : coeficiente de estabilidad de los elementos de protección (4)

γ_w : peso específico del agua (10,25 kN/ m³)

α : ángulo de inclinación del talud

Por tanto se considerará una composición del talud de la siguiente forma para que se asegure la no erosión:

Una capa de manto protector de escollera con un espesor mínimo de 96 cm, seguido de un filtro granular de 22,3 cm como mínimo de espesor, y un relleno general que variará de 0,08 kg a 1,5 kg.

4.1.2.4 comprobación frente a deslizamiento superficial del talud

El deslizamiento de talud del muelle se considera como rotura superficial, y no dependerá de la presencia de pilotes.

4.1.2.5. comprobación frente al equilibrio global

A mayores profundidades sí que influyen los pilotes en la estabilidad. Para calcularlo, la ROM propone un método simplificado, dado la complejidad del cálculo real.

Este cálculo simplificado considera el terreno y los pilotes como un terreno equivalente (que prescinde de pilotes, pero aumenta la cohesión) de la siguiente forma:

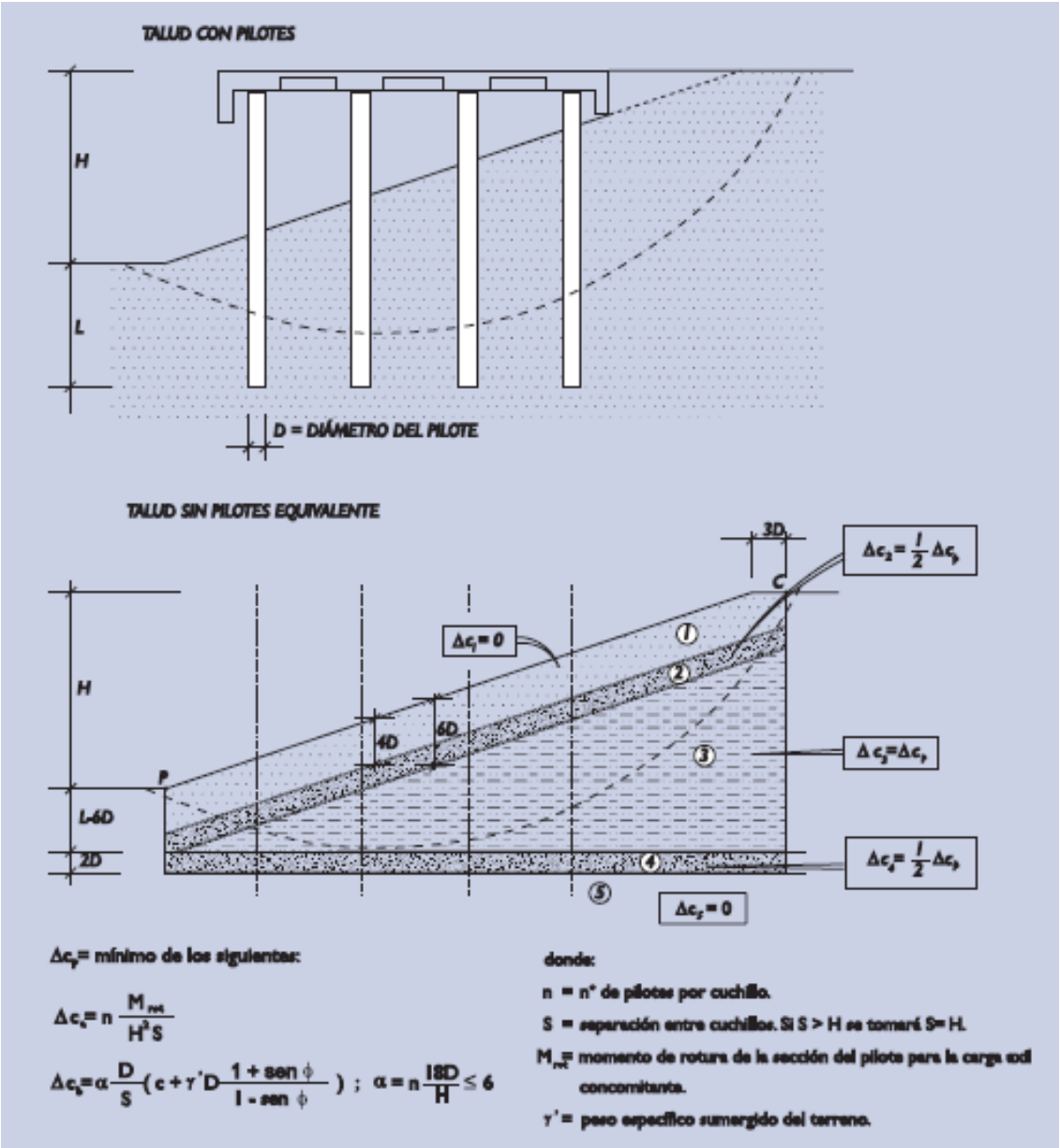


Figura 2: método simplificado del cálculo de la estabilidad

Tal y como se indica en la figura, el incremento de cohesión ΔC_p será el mínimo entre ΔC_a y ΔC_b .

Siendo n: nº de pilotes por cuchillo (5)

 s: separación entre cuchillos (3,75 m)

 M_{rot}: momento de rotura de la sección de pilote para la carga axil concomitante (3500 kNm)

 γ: peso específico sumergido

Operando, se obtienen unos incrementos de cohesión de valor nulo para los niveles 1 y 5, de 3,2 para el segundo nivel, de 6,4 para el tercer nivel y de 3,2 para el cuarto.

Después de calcular el coeficiente de seguridad mediante el programa GeoStudio 2012, y sabiendo que según la ROM el mínimo coeficiente de seguridad para el apoyo de muelles con pilotes en el equilibrio global del talud es 1,3, se observa que el coeficiente obtenido es mayor que es valor de la ROM, y por tanto, se verifica la seguridad frente a equilibrio global.

4.1.2.6 comprobación frente a socavaciones

En las obras portuarias, uno de los mayores problemas que pueden ocurrir son las socavaciones del pie del talud a causa de corrientes, oleaje, o las propias hélices de los barcos, ya que esto inhabilitaría la obra.

Para proteger el talud se coloca una capa de escollera de tamaño mínimo 20 cm. Este valor viene dado por la velocidad del agua, y se calcula siguiendo las siguientes fórmulas:

$$D_{50} \geq h \times \left[\frac{V_b}{B \times \sqrt{K \times \varphi \times g \times (G - 1) \times h}} \right]^{2,5}$$

Siendo: D₅₀: tamaño medio de la escollera de protección

 V_b: velocidad del agua

 B: valor dependiente del tipo de flujo (flujo normal =3)

 K: coeficiente reductor

 φ: parámetro dependiente del comportamiento buscado (sin movimiento de piezas= 0,03)

 g: aceleración de la gravedad

G: peso específico relativo de la escollera

h: calado (7 metros)

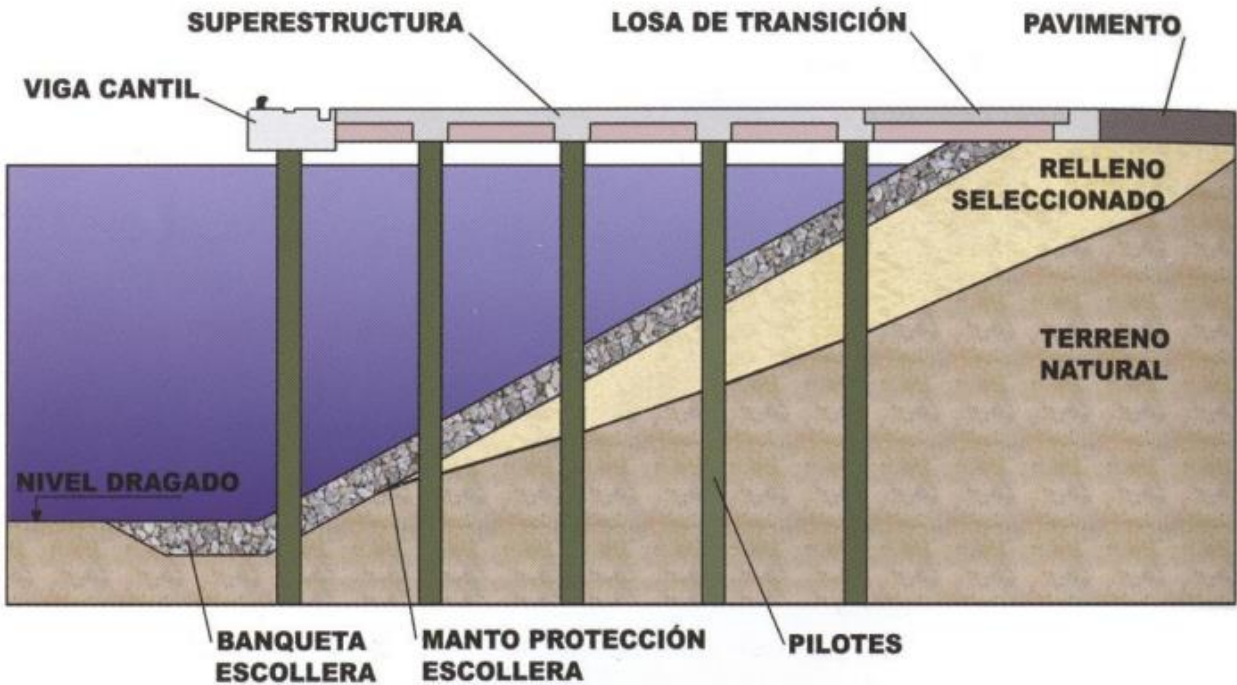
4.1.3 Ejecución

Los pilotes prefabricados se hincarán mediante golpeo a través de mazas de caída libre.

La cabeza del pilote se protegerá con un sombrerete con el fin de no dañarlos en el proceso de hincado.

5. COMPOSICIÓN DEL MUELLE

Sobre los pilotes del muelle plataforma, se colocará el forjado, que estará formado por placas alveolares prefabricadas para formar la superestructura. Las placas estarán apoyadas sobre una capa de mortero fresco que descansará sobre unas vigas paralelas a la línea del muelle.



Las losas alveolares pretensadas se apoyaran sobre las vigas mediante apoyo indirecto de mortero sin apuntalado.

Las vigas y los pilotes se unirán mediante su propia armadura, y se colocarán unas vigas de atado de forma perpendicular a estas, que coincidan en cada uno de los cuchillos para que los pilotes no sufran desplazamientos.

La estructura superior del muelle se completa mediante los estribos. El primero (estribo 1) se colocará paralelamente a la nueva línea de muelle, en el límite con el paseo marítimo. El segundo (estribo 2) será perpendicular al estribo 1 e irá colocado en el linde con el dique del Club Náutico.

La viga cantil, de mayor dimensión que el resto de las vigas, se colocará paralelamente a la línea del antiguo muelle y se renovará del antiguo tacón, lindando con el mar. Por último, el lateral restante, estará formado un estribo-cantil.

La cimentación profunda, tal y como hemos calculado, estará formada por 490 pilotes, que se repartirán de forma que haya 5 pilotes por cuchillo, con una separación entre cuchillos de 3,75 metros.

Los pilotes serán de sección cuadrada de lado 0,4 m y de largo 16 m.

El talud de pendiente 1:2 estará compuesto por un manto protector de escollera de espesor mínimo de 96,1 cm, una capa de filtro granular con espesor mínimo de 22,3 cm, seguido del relleno granular de material seleccionado.