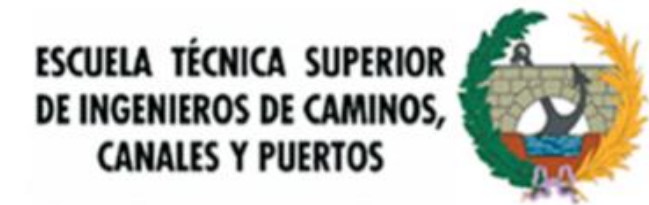




UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TRABAJO FINAL DE GRADO

Estudio de alternativas de adecuación al uso de cruceros de la viga cantil en el Muelle 11 del Puerto de Alicante.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Universitat Politècnica de València

Titulación: *Grado en Ingeniería Civil*

Curso académico: *2019/2020*

Autor: *Alberto Gallego Alcalá*

Tutor: *Joaquín de María Garrido Checa*

Valencia, Noviembre de 2019.

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA Y ANEJOS

MEMORIA

ANEJO Nº1: ANTECEDENTES

ANEJO Nº2: BASES DE DISEÑO

ANEJO Nº3: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

ANEJO Nº4: DIMENSIONAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

ANEJO Nº5: MEDICIONES Y VALORACIÓN ECONÓMICA

DOCUMENTO Nº2: PLANOS

PLANO Nº1: LOCALIZACIÓN

PLANO Nº2: VIGA CANTIL. GEOMETRÍAS

PLANO Nº3: ALZADO FALDONES Y DEFENSAS

PLANO Nº4: SECCIONES ALTERNATIVA 1

PLANO Nº5: SECCIONES ALTERNATIVA 2

PLANO Nº6: SECCIONES ALTERNATIVA 3

PLANO Nº7: SECCIONES ALTERNATIVA 4

PLANO Nº8: DETALLE BOLARDOS

PLANO Nº9: EXCAVACIÓN. PLANTA Y SECCIÓN

PLANO Nº10: PLANTA GENERAL

PLANO Nº11: ARMADO



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Estudio de alternativas de adecuación al uso de cruceros de la viga cantil en el Muelle 11
del Puerto de Alicante.**

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Universitat Politècnica de València

ÍNDICE

1. Objeto del estudio	1
2. Localización y descripción.....	1
2.1. Situación actual.....	1
3. Antecedentes.....	1
4. Bases de diseño	2
4.1. Criterios generales de proyecto.....	2
4.2. Definición de estados a considerar	2
4.2.1. Parámetros de proyecto	2
4.2.2. Topografía y batimetría	3
4.2.3. Estudio geológico y geotécnico	4
4.2.4. Agentes y acciones.....	4
4.3. Procedimientos de verificación.....	6
5. Estudio de alternativas	6
6. Cálculos de estabilidad	9
6.1. Estabilidad frente a deslizamiento.....	10
6.2. Estabilidad frente a vuelco.....	11
7. Dimensionamiento de la solución.....	11
7.1. Descripción de las obras	11
7.2. Dimensionamiento de la viga cantil	13
7.2.1. Cálculo de armado	13
8. Plan de obra y plazo de ejecución	14
9. Mediciones y valoración económica.....	14
10. Normativa de aplicación	15

1. Objeto del estudio

El objeto principal del estudio es analizar y dimensionar la capacidad que puede tener el muelle 11 del Puerto de Alicante, en concreto la viga cantil de este, para recibir el atraque de, en este caso, buques tipo crucero. Para ello, se realiza un acondicionamiento/rediseño de la viga cantil, además de otros trabajos como la sustitución del tipo de defensas en favor de las que sean más convenientes para el uso proyectado.

En primer lugar, se presentan las condiciones y características del muelle y sus componentes, datos sobre la zona de actuación y recopilación de información necesaria de anteriores proyectos en dicho muelle y colindantes. En segundo lugar, tras definir las necesidades, se exponen las diferentes alternativas inicialmente factibles, que son evaluadas para la elección de la alternativa definitiva, la cual se define como solución óptima.

Finalmente se elabora el desarrollo de la alternativa elegida, la tipología de viga cantil y defensas a utilizar, y los cálculos necesarios para su diseño.

2. Localización y descripción

2.1. Situación actual

El Muelle 11 se encuentra en la dársena exterior del Puerto de Alicante, situado en la Comunidad Valenciana, y es perpendicular en al Muelle 13 del este. El muelle se define por las siguientes características.

- Longitud: 358 metros
- Calado medio: 9 metros
- Calado máximo: 11 metros
- Superficie: 55.893 m²
- Uso: Polivalente. Mercancía comercial de granel sólido y general ordinaria.
- Equipos de manipulación de mercancías existentes
 - 2 grúas móviles tipo Liebherr LHM 400
 - 1 grúa móvil Fantuzzi MHC-5150
 - Equipos auxiliares del tipo carretillas elevadoras



Figura 1. Localización de Muelles 11 y 13 Puerto de Alicante.

3. Antecedentes

El diseño inicial del muelle en su proyecto de 1955 fue realizado por el método de bloques de hormigón en masa, concretamente de 5 bloques con una escollera inferior de 1 metro de grosor. Sobre el bloque superior se sitúa la viga cantil que recibe la energía del atraque de los buques y en la cual se colocan los bolardos y defensas correspondientes.

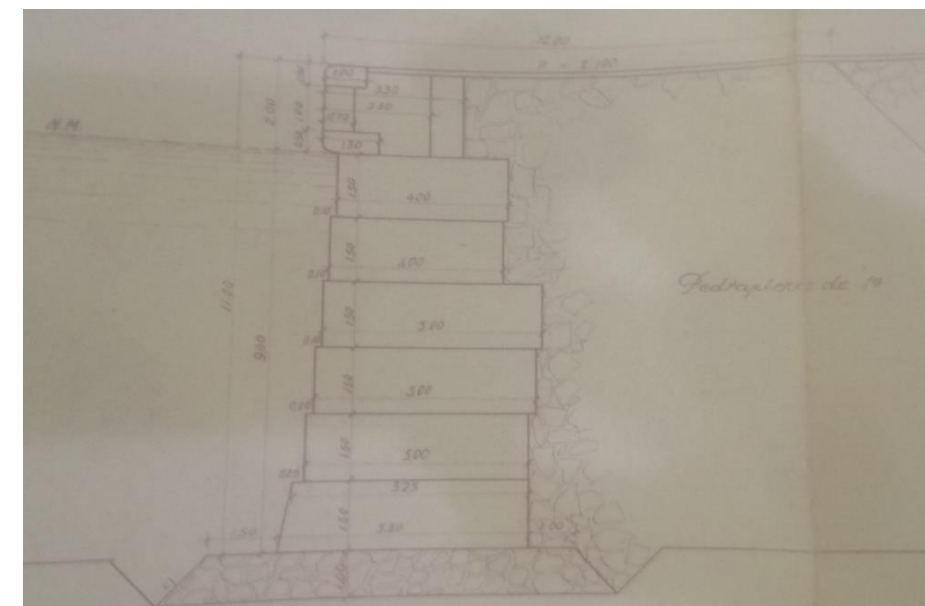


Figura 2. Proyecto inicial de 1955. Sección tipo del Muelle 11.

Estudio de alternativas de adecuación al uso de cruceros de la viga cantil en el Muelle 11 del Puerto de Alicante.

– Parámetros del terreno

Tras tener en cuenta los sondeos realizados previamente al “Proyecto de adecuación de la viga cantil del Muelle 11, Puerto de Alicante”, e incorporando los sondeos realizados en este, el perfil estratigráfico resultante en el muelle 11 del Puerto de Alicante es el siguiente:

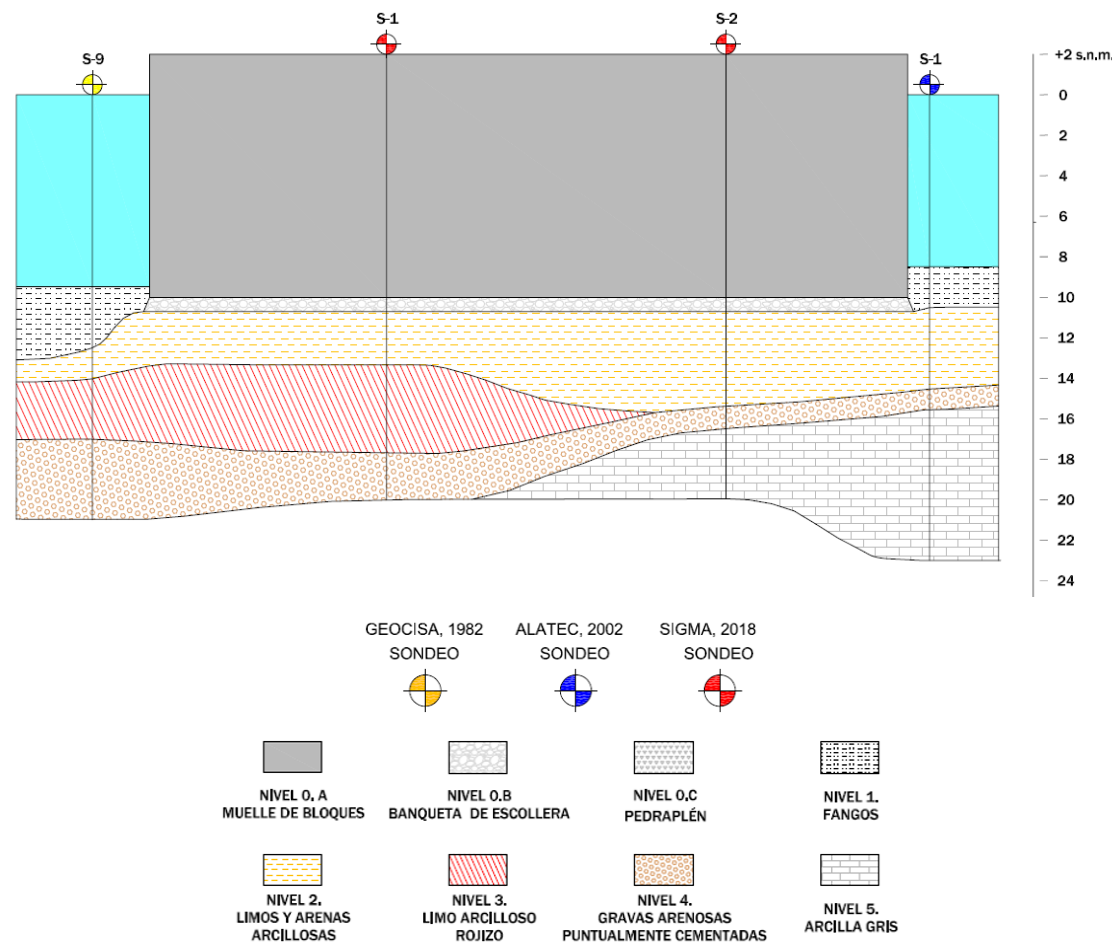


Figura 5. Perfil estratigráfico

– Parámetros del medio físico

- Densidad del agua $\gamma_w = 1030 \text{ kg/m}^3$
- Viscosidad cinemática del agua, $\nu = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Densidad del aire: $\rho_a = 1,23 \text{ kg/m}^3$

En el siguiente apartado se expone la topografía y batimetría estudiada en la zona de actuación.

4.2.2. Topografía y batimetría

Para realizar la campaña topo-batimétrica la información es tomada del “Proyecto de Construcción de la Prolongación del Muelle 13 del Puerto de Alicante. Anejo N°1” y de “Proyecto de construcción de la adecuación de la viga cantil del Muelle 11, Puerto de Alicante”, concretamente en la referida a la unión de los muelles 11 y 13.

- Altimetría: El nivel de referencia altimétrico para cotas y profundidades es el Cero del Puerto de Alicante
- Planimetría: El enlace planimétrico tomado es el sistema de referencia europeo ETRS 89.
- Batimetría: Tras la campaña realizada se obtiene el siguiente plano topo-batimétrico y calados resultantes en la zona del muelle 11.

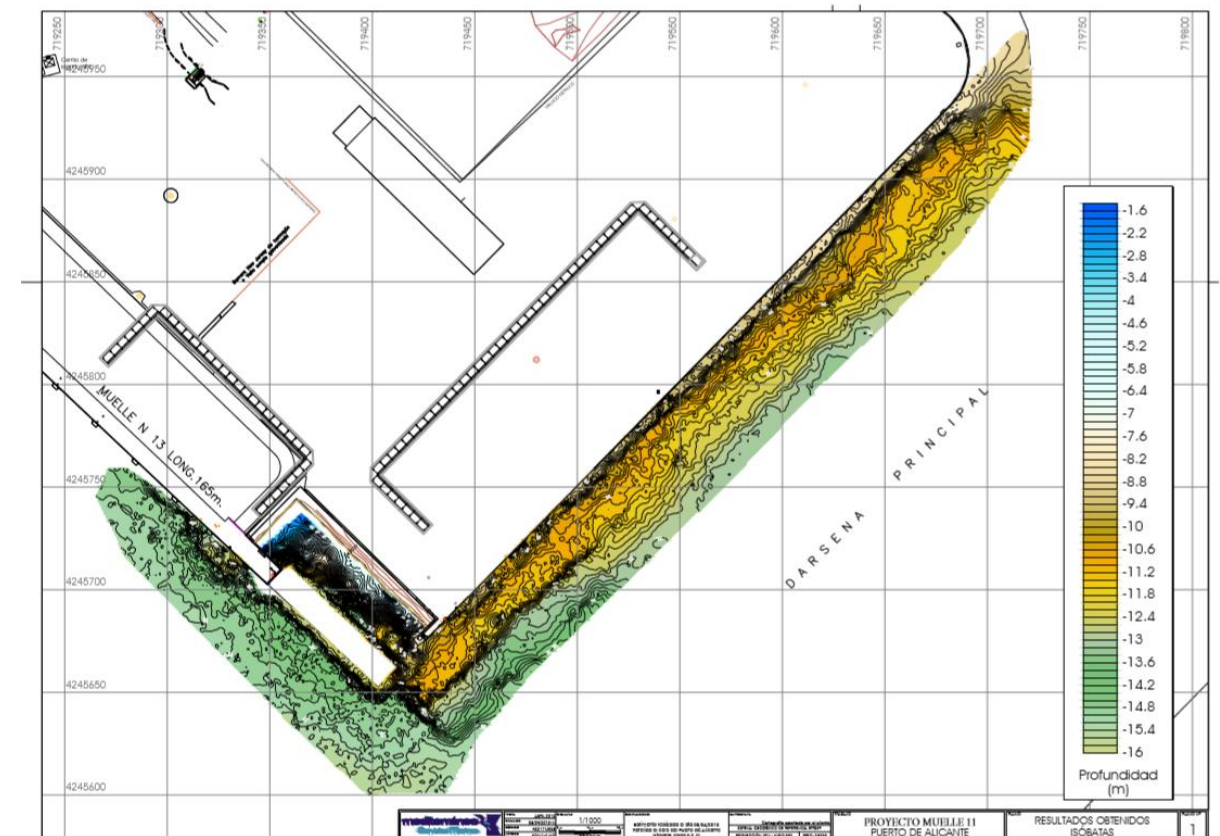


Figura 6. Plano topo-batimétrico de los Muelles 11 y 13 del Puerto de Alicante

ANÁLISIS DE PERFILES TRANSVERSALES					
Nº Perfil	D (pie de muelle)	D (5 m cantil)	D (10 m cantil)	PK	TRAMO
1	-10.2	-10.4	-10.9	0.00	2
2	-9.7	-10.3	-11.1	30.00	2
3	-10.0	-10.2	-10.8	60.00	2
4	-9.2	-9.9	-10.7	90.00	2
5	-9.4	-9.9	-10.8	120.00	2
6	-10.1	-9.9	-11.3	150.00	2
7	-9.0	-9.6	-10.6	180.00	2
8	-9.0	-9.1	-10.6	210.00	1
9	-8.5	-8.6	-9.9	240.00	1
10	-8.6	-9.0	-10.1	270.00	1
11	-8.8	-9.3	-10.8	300.00	1
12	-9.0	-8.9	-10.1	330.00	1
13	-8.0	-8.2	-9.4	354.00	1

Tabla 1. Calados del estudio de los perfiles longitudinales del Muelle 11.

4.2.3. Estudio geológico y geotécnico

Tras realizar los sondeos pertinentes en los puntos indicados, se han realizado los siguientes ensayos y pruebas:

- 7 Granulometrías, 7 Límites de Atterberg, 9 Ensayos de humedad, 9 Ensayos de densidad, 7 Ensayos de Compresión simple, 3 Ensayos de consolidación edométrica, 2 Ensayos de corte directo, 2 Ensayos de Agresividad del suelo al hormigón, 1 Ensayo de Agresividad del agua al hormigón.



Figura 7. Ubicación de sondeos

Obteniendo del perfil estratigráfico presente en el apartado “Topografía y batimetría” la siguiente columna estratigráfica:

- Nivel 1. FANGOS. Terrenos de consistencia baja, detectados sólo en el sondeo S-2, por debajo de los rellenos de pedraplén.
- Nivel 2. LIMOS Y ARENAS ARCILLOSAS, PARCIALMENTE CARBONATADOS. Nivel de apoyo del muelle, de consistencia firme, que alcanza una potencia de hasta 4,5 m. El contenido de finos y arenas es variable a lo largo de este nivel.
- Nivel 3. LIMO ARCILLOSO ROJIZO. Nivel cohesivo, de consistencia muy firme. Se detecta principalmente en el sondeo S-1, caracterizado por una potencia aproximada de 4,0 m.
- Nivel 4. GRAVAS ARENOSAS, PUNTUALMENTE CEMENTADAS. Nivel profundo de compacidad muy densa, detectado hasta el final del sondeo S-1. Puntualmente se extrae como arenisca fracturada.
- Nivel 5. ARCILLA GRIS. Nivel cohesivo de consistencia muy firme / dura, detectado únicamente en el sondeo S-2 a partir de los 19 m de profundidad y hasta el final del sondeo.

4.2.4. Agentes y acciones

- Agentes climáticos

Los valores umbrales tenidos en cuenta para este estudio se encuentran en la tabla 3.2.1.3 de la ROM 2.0-11, presente en el anejo nº2 Bases de diseño.

- Oleaje: Se considera abrigado al muelle 11 del oleaje exterior, por lo que no se toma en cuenta como agente climático.
- Viento: Se considera agente climático predominante para este estudio. Datos Nodo WANA 613023024 presentes en el Anejo nº2 Bases de diseño.
- Marea: Se adoptan los valores de la tabla 4.6.2.3 de la ROM 2.0-11 para la fachada de Valencia.

- Agente sismo

NCSE- 02 que corresponde a $ab = 0,14 \cdot g$

- Agente de uso y explotación

Son extraídos de la ROM 2.0-11 e Información APA. Ambos tramos tienen uso de cruceros por lo que la sobrecarga de estacionamiento para el muelle es de $q_{v,1rk} = 10 \text{ kN/m}^2$ y la sobrecarga de almacenamiento de $q_{v,1rk} = 20 \text{ kN/m}^2$.

Estudio de alternativas de adecuación al uso de cruceros de la viga cantil en el Muelle 11 del Puerto de Alicante.

- Pasarela para embarque y desembarque de pasajeros

Para analizar las cargas transmitidas tabla 4.6.4.26 según la ROM 2.0-11. Se establece el viento como agente predominante en su uso y se toma una velocidad igual a la de operaciones de embarque y desembarque de 22 m/s.

- Elementos de amarre y atraque

En la actualidad existen los siguientes elementos: 19 bolardos de 50 toneladas de capacidad y 18 defensas de tipo cilíndrico.

- Buque tipo

Se ha establecido el buque tipo de acuerdo con la metodología de la ROM 2.0-11. Para definir los parámetros representativos geométricos de capacidad y de situación de carga del buque y la relación entre los mismos se hace uso de la tabla 4.6.4.32. Para escoger el buque tipo se han tomado en cuenta los condicionantes referentes a los parámetros geométricos siguientes:

Resguardos alineación en planta: Tabla 3.2.1.5.

Un único buque para atraque: Clase 250 e inferiores

Dos buques en atraque: Clase 200 e inferiores

Calado: Figura 3.2.9 y la tabla 3.2.2.2 de la ROM 2.0-11

El mayor buque que permite el mínimo calado existente → clase 175

Por lo tanto, el buque escogido para la realización de este estudio es el denominado clase 175 por criterios de calado y que, además, permitirá el atraque simultáneo de dos buques máximos en línea.

BUQUE TIPO MUELLE 11		
TPM	10.000	t
Desplazamiento a plena carga	6.000	t
Eslora	119	m
Eslora entre perpendiculares	111	m
Manga	21,1	m
Puntal	11,6	m
Calado máximo en carga	6,3	m
Área transversal emergida, máx.	428	m ²
Área longitudinal emergida, máx.	1.510	m ²

Tabla 2. Características de buque tipo Clase 175 según ROM 2.0-11

- Sistema de atraque

- Energía de atraque

Se calcula mediante la metodología aportada por la ROM 2.0-11, obteniendo los siguientes valores:

	Velocidad de aproximación (m/s)	
	FAVORABLE	MODERADAS
	0,38	0,55
Desplazamiento de cálculo (t)	8.815	8.815
Eslora (m)	119	119
Manga (m)	21,1	21,1
Calado a plena carga (m)	6,3	6,3
Puntal (m)	11,6	11,6
α (°)	15	15
V_b (m/s)	0,38	0,55
L_{pp} (m)	111	111
γ_w (t/m ³)	1,03	1,03
C_m	1,79	1,79
C_b	0,58	0,58
K	27,79	27,79
r	29,75	29,75
Arctg (B/2r)	19,53	19,53
R	26,01	26,01
cos (ϕ)	0,57	0,57
C_e	0,68	0,68
C_s	1	1
C_c	0,9	0,9
C_g	0,95	0,95
ϕ	55,47	55,47
C_b	0,58	0,58
E_b	71,44	149,65
Energía absorbida, E_f ,normal (kN·m)	41,53	87,01
Energía amplificada, E_f ,accidental (kN·m)	62,30	130,51

Tabla 3. Energía de atraque

Por lo que la energía mínima que debe absorber una sola defensa será de 1305,1 kN.

- Sistema de amarre

Parámetros a los que se encuentra sometido el buque: Tabla 4.6.4.48 de la ROM 2.0-11.

- Tiro de bolardo

Direcciones de viento limitantes:

- Dirección NW, transversal al buque en sentido muelle-mar.
- Dirección NE, longitudinal al buque.
- Dirección ENE, oblicua respecto al eje del buque.

Carga de amarre mínima: ROM 2.0-11 a través de la tabla 4.6.4.66

Desplazamiento a plena carga de cálculo = 8.815 t → Carga de amarre mínima = 350 kN

Condiciones climáticas tipo III: $350 \times 1,25 = 437,5$ kN

- Configuración de las amarras: Tabla 4.6.50

4.3. Procedimientos de verificación

- Modos de fallo ELU

- Estabilidad frente a vuelco de la viga cantil
- Estabilidad frente a deslizamiento de la viga cantil
- Resistencia estructural del hormigón armado

- Modos de fallo ELS

- Fisuración del hormigón

- Condiciones de trabajo:

- CT1 → CT1,a: Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes a la realización de operaciones de carga y descarga
- CT2 → CT2,a: Condiciones de Trabajo Extremas con el viento como agente climático predominante
- CT3 → CT3.3,2: Condiciones excepcionales debidas a acción sísmica.

5. Estudio de alternativas

En el Anejo nº3 Estudio de alternativas se incluye el prediseño y valoración de las alternativas de adecuación de la viga cantil en mayor detalle.

Las distintas alternativas se pueden clasificar en dos grupos principalmente, que se entrelazan para generar las 4 alternativas propuestas:

- Ejecución de recrecido sobre viga cantil existente / ejecución de viga cantil completa
- Defensa cilíndrica / defensa con estructura cilíndrica tipo escudo

Equipamiento de la viga cantil

- Sistema de amarre. Bolardos

Se definen bolardos de 50 toneladas de capacidad nominal y con una separación de 20 metros, en el punto medio del tramo entre defensas.

- Sistema de atraque. Defensas

Se definen 17 defensas con una separación entre ellas de 20 metros. Ambas defensas son del fabricante Shibata Fender Team.

- Defensa cilíndrica 2200 x 1200

OD x ID [mm]	E [kNm/m]	R [kN/m]	P [kN/m ²]	Peso [kg/m]
2200 x 1200	524.0	1083	575	3204.0

Energía máxima a absorber por la defensa = 1.305,5 kN m

Reacción producida sobre la estructura = 3.249 kN (324,9 toneladas)

- Defensa tipo escudo CSS 1600 grado dureza 3.0

Defensa Tamaño	E/R	Grado Caucho / Valor de Rendimiento	G 3.0
CSS 1600	0.70	Energía Reacción	1324 1883

Energía máxima a absorber por la defensa = 1.324 kN m

Reacción producida sobre la estructura = 1.883 kN (153,4 toneladas)

Las alternativas propuestas se resumen a continuación:

Alternativa 1: Recreido de viga cantil de hormigón armado y defensa cilíndrica 2200 X 1200 de 3 metros

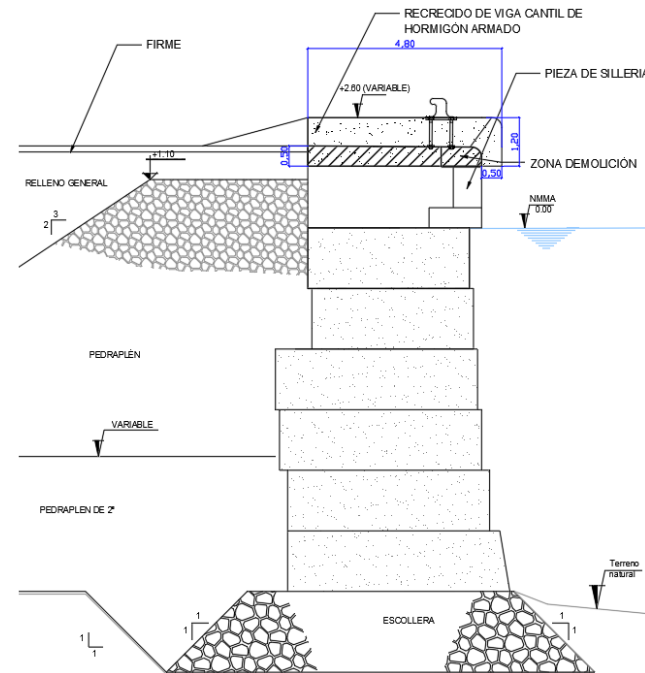


Figura 8. Sección sin defensa Alternativa 1

Alternativa 2: Viga cantil de hormigón armado completa y defensa cilíndrica 2200 x 1200 de 3 metros

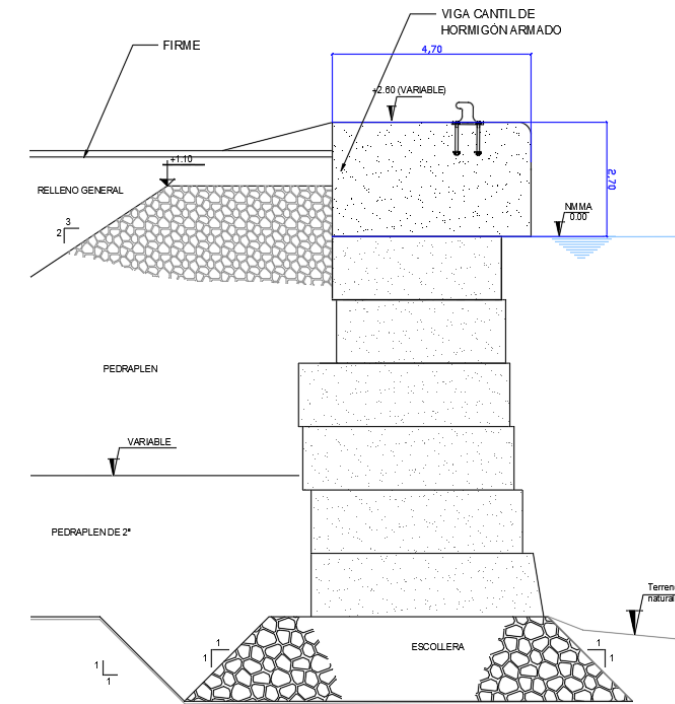


Figura 10. Sección sin defensa Alternativa 2

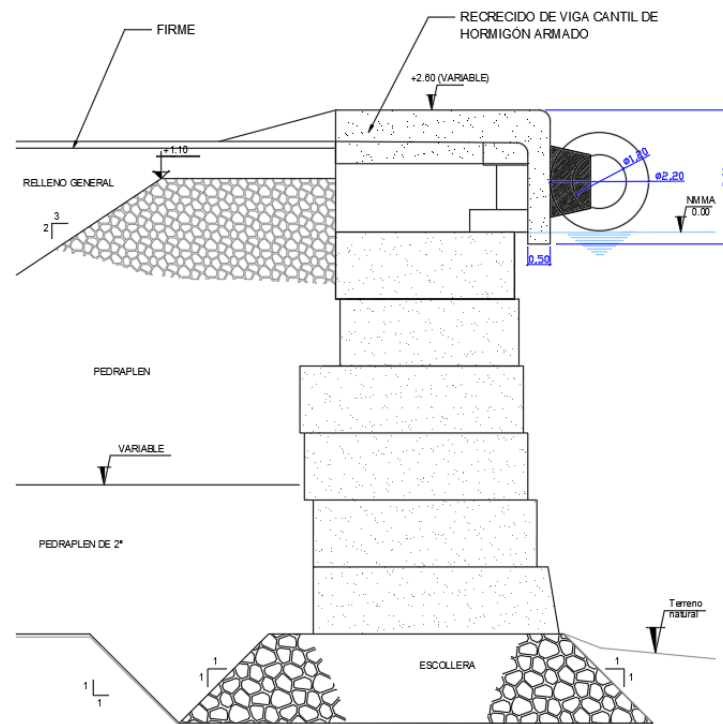


Figura 9. Sección con defensa Alternativa 1

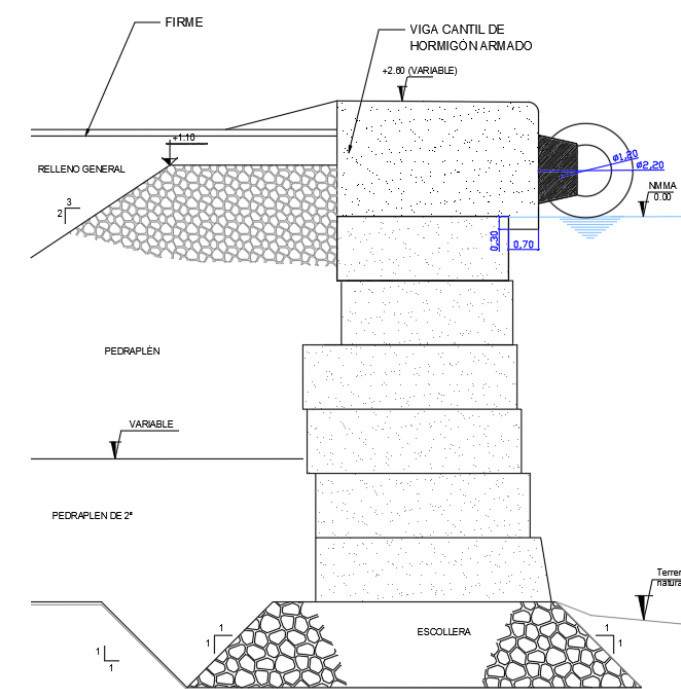


Figura 11. Sección con defensa Alternativa 2

Alternativa 3: Recreido de viga cantil de hormigón armado y defensa de escudo CSS 1600 g.d 3.0

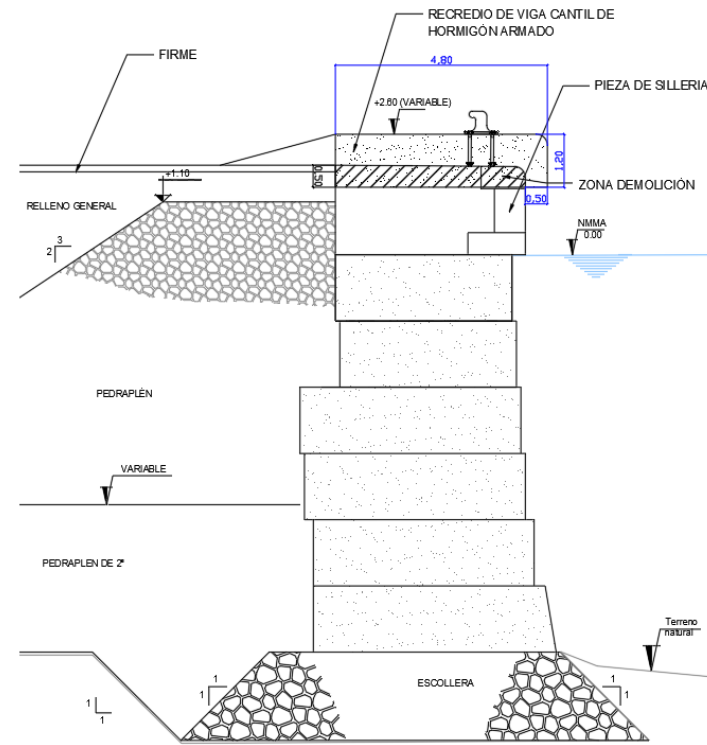


Figura 12. Sección sin defensa Alternativa 3

Alternativa 4: Viga cantil de hormigón armado completa y defensa de escudo CSS 1600 g.d 3.0

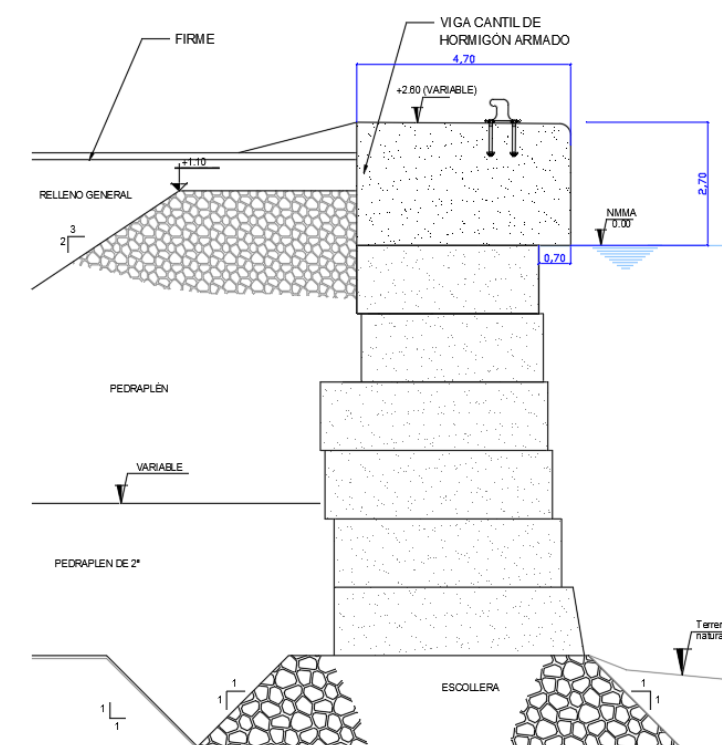


Figura 14. Sección sin defensa Alternativa 4

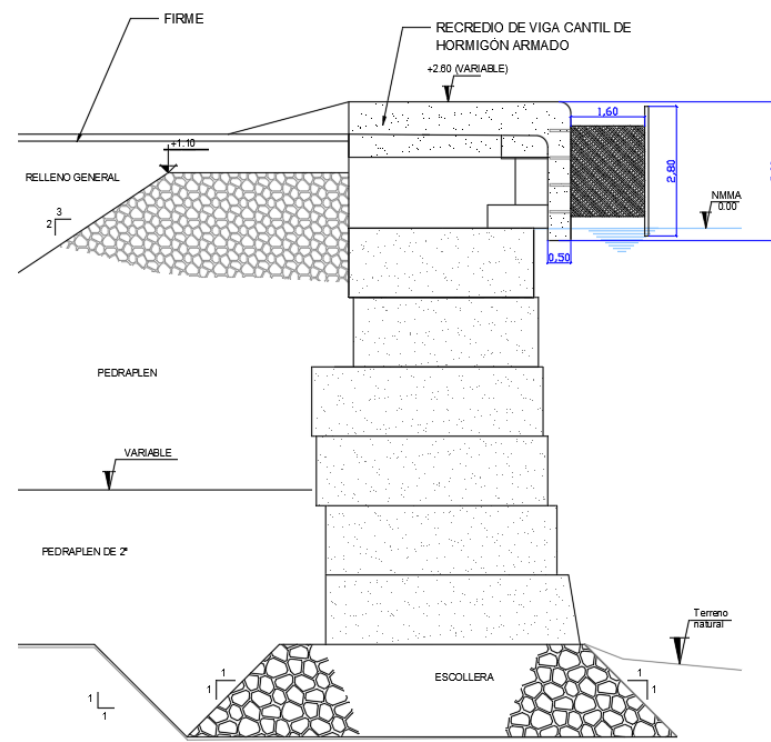


Figura 13. Sección con defensa Alternativa 3

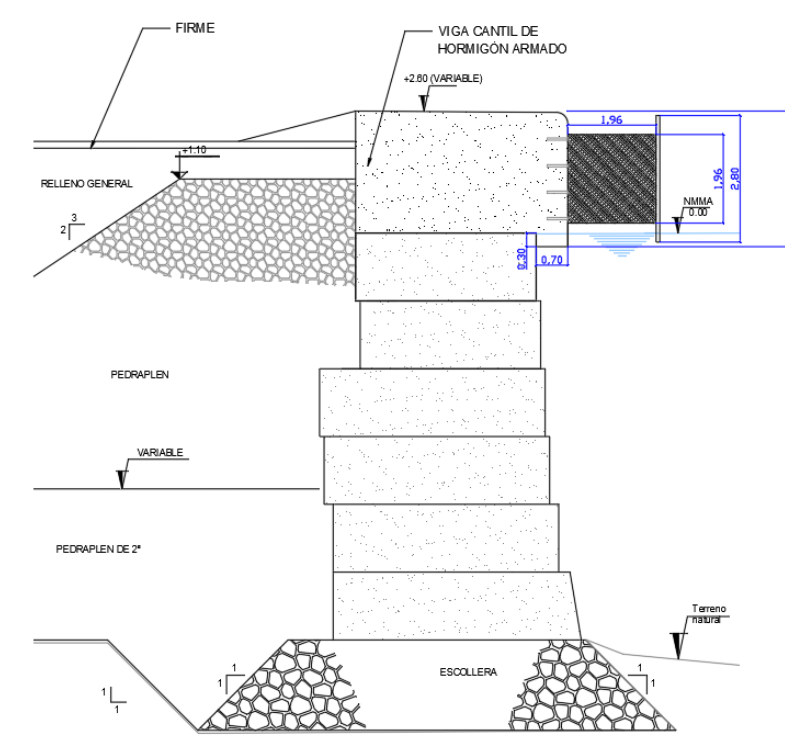


Figura 15. Sección con defensa Alternativa 4

En el siguiente apartado se realiza el análisis comparativo de las alternativas a partir de los siguientes criterios propuestos:

Criterio	Clasificación de criterio	Coefficiente de ponderación
Repercusión medioambiental	Medioambiental	0,20
Precio de la obra	Económico	0,10
Plazo de ejecución	Ejecución	0,10
Complejidad de la obra	Ejecución	0,10
Compatibilidad defensa/buque	Funcional	0,30
Adaptabilidad a uso futuro	Funcional	0,20

Tabla 4. Criterios de selección

Tras realizar la puntuación a cada una de las alternativas por cada uno de los criterios seleccionados, y efectuando la ponderación correspondiente para cada uno de ellos se obtiene el siguiente resultado, el cual se encuentra desarrollado de manera más detallada para cada uno de los criterios en el Anejo nº3 Estudio de alternativas.

Alt	Repercusión medioambiental	Precio de la obra	Plazo de ejecución	Complejidad de la obra	Compatibilidad defensa/buque	Adaptabilidad a uso futuro	Puntuación ponderada
1	4	5	4	4	3	2	3,40
2	3	1,24	2	5	3	3	2,924
3	5	3,77	3	3	5	3	4,077
4	4	1	3	5	5	5	4,20

Tabla 5. Análisis de selección

Por lo tanto, tras la comparación de alternativas, se observa que tanto la alternativa 3 como la alternativa 4 tienen una puntuación total considerablemente superior a la de las alternativas 1 y 2, siendo la **Alternativa 4** la solución elegida, referente a la ejecución de una **nueva viga cantil con defensa tipo escudo y estructura cilíndrica**.

6. Cálculos de estabilidad

En este apartado se lleva a cabo la comprobación de viabilidad y aceptación de cada alternativa respecto a la estabilidad por modo de fallo vuelco y deslizamiento. Se seguirán las directrices marcadas por la ROM 0.5-05.

Coefficientes de seguridad mínimos	
Deslizamiento	1,80
Vuelco rígido	1,30

Tabla 6. Coeficientes de seguridad mínimos

Coefficientes de ponderación ELU	
Tipo de carga	γ
Cargas variables desfavorables	1,50
Cargas permanentes desfavorables	1,10
Cargas permanentes favorables	0,90
Coefficiente de combinación	
Tipo de carga	γ
Cargas concomitantes (no predominantes)	0,70

Tabla 7. Coeficientes de ponderación ELU

Para ello se deben definir las solicitaciones que actúan sobre la viga para su dimensionamiento, en este caso para cada una de las 4 alternativas, considerando los módulos de 20 m entre juntas de hormigonado.

- Peso propio de la viga cantil, ya sea recrecidos de viga cantil para alternativas 1 y 3 o ejecución de nueva viga cantil completa en alternativas 2 y 4, considerando un canto de 1,20 y 2,70 metros respectivamente.
- Sobrecarga de operación de 10 kN/m² actuando en trasdós de la superestructura, que transmite un empuje horizontal de 0,29 t/m para alternativas 1 y 3 y 0,66 t/m para alternativas 2 y 4.
- Empuje del relleno del trasdós de valor 0,33 t/m para las alternativas 1 y 3 y 1,72 t/m para las alternativas 2 y 4.
- Tiro de bolardo. Se disponen bolardos cada 20 m, por tanto, en cada módulo de cálculo se considera un bolardo trabajando a su capacidad nominal de 50 t, con un ángulo máximo respecto a la horizontal de 25°, por lo que el valor de las componentes del tiro de bolardo es:
 - Th: 22,65 t/m.
 - Tv: 10,56 t/m.
- Peso de la defensa CSS 1600 es de 6,85 t repartido en el módulo de 20 m de 0,38 t/m. La distancia entre ejes de defensas es de 20 m. Para las alternativas 1 y 3 el peso de la defensa es de 3,20 t.
- Reacción de la defensa es de 1.883 kN siendo repartido por los 20 metros de separación que hay entre cada una de ellas se obtiene una reacción $R_d = 94,15$ kN/m simplificada totalmente en fuerza vertical.

Realizando la combinación correspondiente con los coeficientes definidos se obtienen las siguientes acciones de cálculo:

Acciones de cálculo	Fh (t/m)	Fv (t/m)	Me (t.m/m)	Mv (t.m/m)
Peso propio de la viga cantil	0,00	13,97	26,55	0,00
Peso propio de la defensa	0,00	0,17	0,00	0,28
Empuje del relleno	0,26	0,00	0,00	0,11
Empuje por sobrecarga	0,31	0,00	0,00	0,18
Tiro de bolardo	3,40	-1,59	0,00	3,95

Tabla 8. Acciones de cálculo Alternativa 1

Acciones de cálculo	Fh (t/m)	Fv (t/m)	Me (t.m/m)	Mv (t.m/m)
Peso propio de la viga cantil	0,00	28,79	47,50	0,00
Peso propio de la defensa	0,00	0,17	0,00	0,27
Empuje del relleno	1,33	0,00	0,00	1,20
Empuje por sobrecarga	0,69	0,00	0,00	0,93
Tiro de bolardo	3,40	-1,59	0,00	9,37

Tabla 9. Acciones de cálculo Alternativa 2

Acciones de cálculo	Fh (t/m)	Fv (t/m)	Me (t.m/m)	Mv (t.m/m)
Peso propio de la viga cantil	0,00	13,97	26,55	0,00
Peso propio de la defensa	0,00	0,38	0,00	0,61
Empuje del relleno	0,26	0,00	0,00	0,11
Empuje por sobrecarga	0,31	0,00	0,00	0,18
Tiro de bolardo	3,40	-1,59	0,00	3,96

Tabla 10. Acciones de cálculo Alternativa 3

Acciones de cálculo	Fh (t/m)	Fv (t/m)	Me (t.m/m)	Mv (t.m/m)
Peso propio de la viga cantil	0,00	28,79	47,50	0,00
Peso propio de la defensa	0,00	0,38	0,00	0,56
Empuje del relleno	1,33	0,00	0,00	1,20
Empuje por sobrecarga	0,69	0,00	0,00	0,93
Tiro de bolardo	3,40	-1,59	0,00	9,37

Tabla 11. Acciones de cálculo Alternativa 4

6.1. Estabilidad frente a deslizamiento

	Estabilidad frente a deslizamiento				
	Resultante vertical	Resultante horizontal	Coefficiente rozamiento entre hormigones	Coefficiente de deslizamiento	
Alternativa 1	12,56	3,97	0,7	2,22	Cumple
Alternativa 2	27,38	5,43	0,7	3,53	Cumple
Alternativa 3	12,76	3,97	0,7	2,25	Cumple
Alternativa 4	27,58	5,43	0,7	3,56	Cumple

Tabla 12. Estabilidad frente a deslizamiento

Se decide realizar en las alternativas 1 y 3, correspondientes a los recrecidos, un atado por medio de armaduras de conexión al tramo de viga cantil existente y al bloque inmediatamente inferior debido al deficiente estado de la viga cantil sin demoler, actuando así como un único bloque para el cálculo. Las nuevas solicitaciones para la alternativa 1 y 3 son las siguientes:

Acciones de cálculo	Fh (t/m)	Fv (t/m)	Me (t.m/m)	Mv (t.m/m)
Peso propio de la viga cantil	0,00	32,68	52,29	0,00
Peso propio de la defensa	0,00	0,17	0,00	0,34
Empuje del relleno	3,23	0,00	0,00	4,52
Empuje por sobrecarga	1,07	0,00	0,00	2,26
Tiro de bolardo	3,40	-1,59	0,00	14,63

Tabla 13. Acciones de cálculo Alt 1 modificada

Acciones de cálculo	Fh (t/m)	Fv (t/m)	Me (t.m/m)	Mv (t.m/m)
Peso propio de la viga cantil	0,00	32,68	52,29	0,00
Peso propio de la defensa	0,00	0,38	0,00	0,72
Empuje del relleno	3,23	0,00	0,00	4,52
Empuje por sobrecarga	1,07	0,00	0,00	2,26
Tiro de bolardo	3,40	-1,59	0,00	14,63

Tabla 14. Acciones de cálculo Alt 3 modificada

Realizando de nuevo el cálculo de estabilidad frente a deslizamiento obtenemos los siguientes valores, que validan por tanto la geometría de ambas modificaciones.

	Estabilidad frente a deslizamiento				
	Resultante vertical	Resultante horizontal	Coefficiente rozamiento entre hormigones	Coefficiente de deslizamiento	
Alternativa 1	31,27	7,71	0,7	2,84	Cumple
Alternativa 3	31,48	7,71	0,7	2,86	Cumple

Tabla 15. Estabilidad frente a deslizamiento alternativas modificadas

6.2. Estabilidad frente a vuelco

	Estabilidad frente a vuelco			
	Momento estabilizador	Momento volcador	Me/Mv	
Alternativa 1	26,55	4,53	5,86	Cumple
Alternativa 2	47,50	11,77	4,03	Cumple
Alternativa 3	26,55	4,84	5,48	Cumple
Alternativa 4	47,50	12,07	3,93	Cumple

Tabla 16. Estabilidad frente a vuelco

También se comprueban las modificaciones realizadas para las alternativas 1 y 3.

	Estabilidad frente a vuelco			
	Momento estabilizador	Momento volcador	Me/Mv	
Alternativa 1	52,29	21,74	2,40	Cumple
Alternativa 3	52,29	22,13	2,36	Cumple

Tabla 17. Estabilidad frente a vuelco alternativas modificadas

Por lo tanto, tanto las geometrías de las alternativas iniciales como de las modificaciones propuestas pueden ser validadas frente al modo de fallo por vuelco.

7. Dimensionamiento de la solución

7.1. Descripción de las obras

En este estudio se propone un trabajo sobre la longitud total del muelle 11 del Puerto de Alicante igual a 358 metros y sobre un ancho que comprende el ancho de viga cantil solución igual a 4,70 metros además de 4,80 metros de ancho necesario para realizar la excavación para ejecutar los trabajos como se observa en la figura 17.

La solución propuesta consiste en realizar una nueva viga cantil completa donde se alojan 17 defensas de estructura cilíndrica tipo escudo CSS 1600, repartidas cada 20 metros de muelle. Las dimensiones en planta de la solución propuesta para el muelle 11 se puede observar en la figura 16.

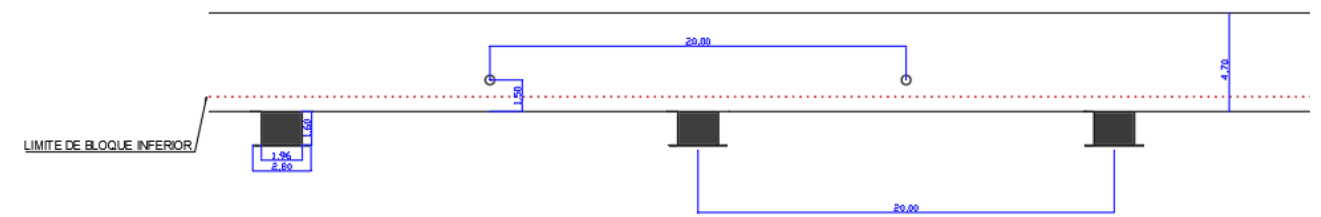


Figura 16. Alzado tipo de muelle 11

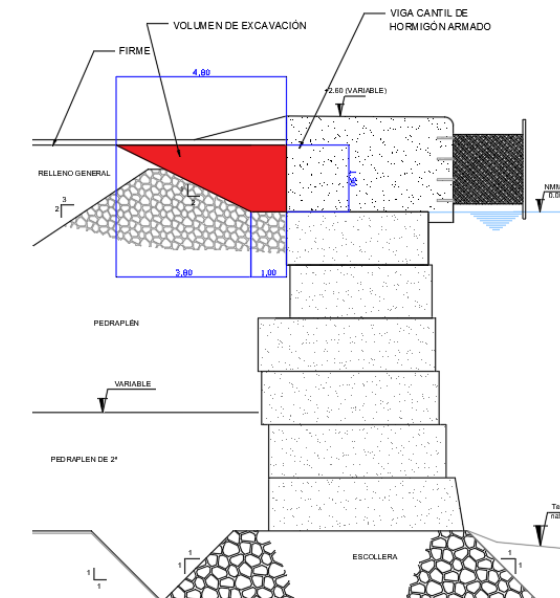


Figura 17. Volumen de excavación necesario

Como se puede observar en las secciones de muelle mostradas en el apartado Alternativas de esta memoria, existen dos tipos de secciones de la viga cantil. Las secciones tipo se representan Documento nº 2 Planos.

Estudio de alternativas de adecuación al uso de cruceros de la viga cantil en el Muelle 11 del Puerto de Alicante.

– Sección sin defensa

Esta sección presenta un ancho igual a 4,70 metros con un voladizo de 0,70 metros respecto al fuste del bloque de hormigón en masa sobre el que se apoya. Tiene un canto de 2,70 metros constante a lo largo de todo el ancho de viga cantil.

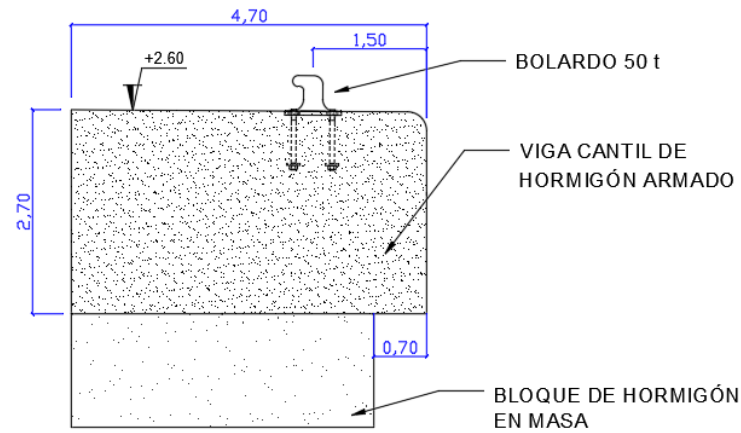


Figura 18. Sección sin defensa

– Sección con defensa

La sección presenta un ancho y un canto igual a la sección con defensa de 4,70 metros y 2,70 metros respectivamente, por lo que el ancho y el canto de la viga cantil permanecen invariables a lo largo de todo el muelle. Además, presenta un voladizo de 0,70 metros que amplía el canto de la sección en esta parte hasta los 3,00 metros ejecutando un faldón de 0,30 metros, necesario para albergar la defensa tipo CSS 1600 y grado de dureza 3.0.

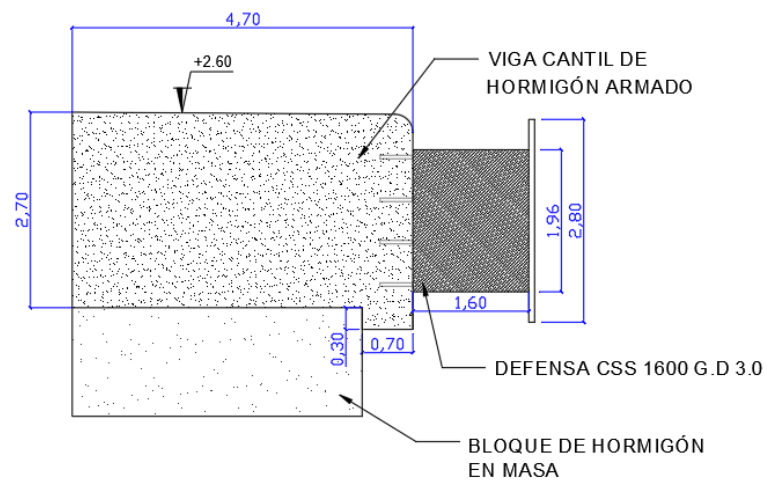


Figura 19. Sección con defensa

– Alzado de la sección con defensa

En este apartado se muestra el alzado de la sección con defensa, donde se observa el ancho del faldón que es igual a 3 metros para albergar cada una de las defensas y el aumento de canto en dichas secciones con un faldón de 0,30 metros.

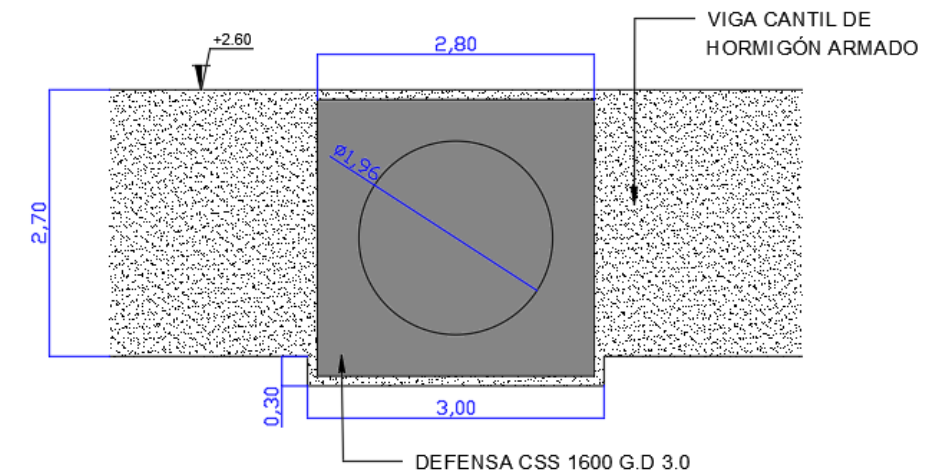


Figura 20. Alzado viga cantil-defensa CSS 1600

– Excavación en zanja en trasdós de la viga existente y demolición completa

Se realiza el estudio considerando la demolición completa de la viga cantil existente para realizar la nueva viga cantil de hormigón armado alcanzando la cota de coronación 2,60 metros en toda la longitud del muelle. Para ello el área de excavación en zanja visto en planta es la siguiente.

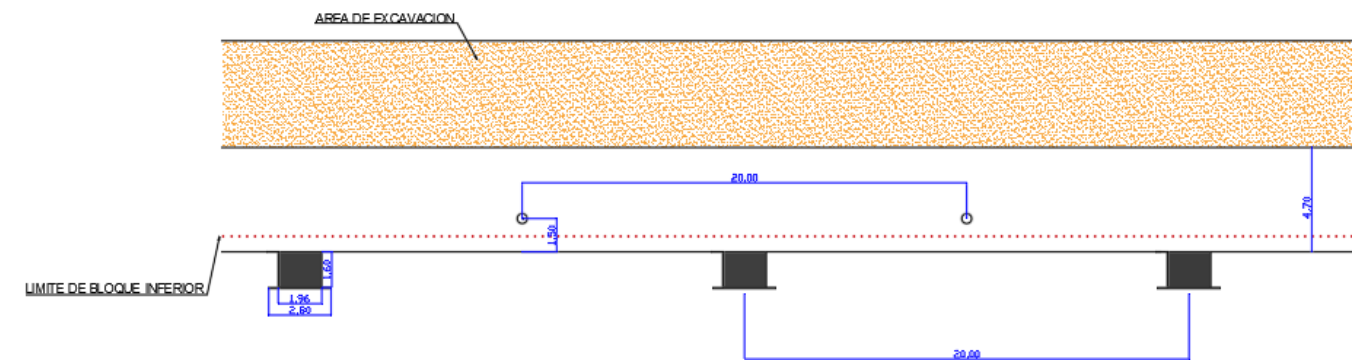


Figura 21. Excavación en zanja. Planta

- Equipamiento de la viga cantil
- 17 bolardos de 50 t de capacidad nominal situados cada 20 m (detalle de bolardos en *Documento nº2 Planos*).
- 17 defensas de estructura cilíndrica tipo escudo CSS 1600 g.d 3.0 con escudo de dimensiones 2,80 x 2,80 metros, colocadas cada 20 m (detalle de defensas Documento nº2 Planos).

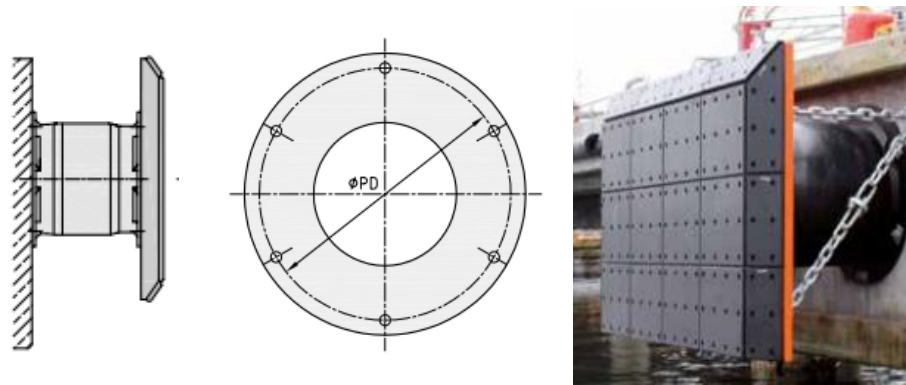


Figura 22. Defensas CSS 1600 g.d 3.0 Shibata Fender Team

7.2. Dimensionamiento de la viga cantil

En el anejo nº4 Dimensionamiento de la solución se realiza el dimensionamiento de la viga cantil llevando a cabo los cálculos de estabilidad y de armado correspondientes.

Los cálculos de estabilidad para la alternativa escogida cumplen tanto frente a deslizamiento como frente a vuelco.

	Cálculo de estabilidad	
	Deslizamiento	Vuelco
Alternativa 4	3,56	3,93
Coefficientes mínimos	1,80	1,30
	Cumple	Cumple

Tabla 18. Cálculo de estabilidad

7.2.1. Cálculo de armado

Se determina el cálculo del armado necesario para ambas secciones previamente expuestas, que son las consideradas como secciones de cálculo.

- Sección sin defensa: 4 metros de ancho apoyado sobre bloque inferior, 0,70 metros de voladizo y 2,70 metros de canto constante.
Acciones que considerar: Peso propio de la viga
- Sección con defensa: 4 metros de ancho apoyado sobre bloque inferior, 0,70 metros de voladizo con un canto en zona de voladizo de 3,00 metros incluyendo un faldón de 0,30 metros de canto.
Acciones que considerar: Peso propio de la viga, peso de la defensa CSS 1600 y reacción de la defensa

Coeficientes de ponderación ELU STR	
Tipo de carga	γ
Cargas variables desfavorables	1,50
Cargas permanentes desfavorables	1,35
Cargas permanentes favorables	1,00
Coeficiente de ponderación ELS STR	
Tipo de carga	γ
Cargas variables desfavorables	1,00
Cargas permanentes desfavorables	1,00
Cargas permanentes favorables	1,00

Tabla 19. Coeficientes de ponderación ELU y ELS

El cuadro resumen del armado de cálculo se adjunta a continuación:

Armatura por metro lineal		
Armatura	Nº de redondos	Diámetro (mm)
As, longitudinal, cara inferior	5	20
As, longitudinal, cara superior	10	25
As, transversal, cara inferior	5	20
As, transversal, cara superior	10	25
Armatura en faldón		
Cercos	6	12
Armatura longitudinal	5	20
Armatura transversal	5	20

Tabla 20. Cuadro resumen de armado

La disposición del armado de la viga y detalles se representan en el Documento Nº2 Planos de este estudio.

8. Plan de obra y plazo de ejecución

El objetivo del plan de obra es que el muelle permanezca parcialmente operativo el mayor tiempo posible de la ejecución de las obras.

Se estima un plazo de ejecución de las obras de 107 días, alrededor de 5 meses, y se puede ver representado en forma de diagrama de Gantt en el Anejo nº4 Dimensionamiento de la solución.

9. Mediciones y valoración económica

Se han identificado como unidades de obra condicionantes para la valoración económica y de mayor volumen de obra las siguientes:

- Viga cantil
 - Demolición de viga cantil existente medios mecánicos c/transporte
 - Excavación en terreno de trasdós c/transporte
 - Hormigón para viga cantil HA-35/P/20/IIIc+Qb
 - Acero B-500-S para armaduras
- Bolardos y cantonera
 - Bolardo de 50 t de capacidad nominal
 - Aristón de cantil
- Defensas
 - Defensas de escudo con estructura cilíndrica CSS 1600 g.d 3.0 Shibata Fender Team

Una vez realizadas las mediciones de dichas unidades de obra, se obtiene a partir de los precios unitarios el presupuesto de estudio el cual es UN MILLÓN DIECISIETE MIL NOVECIENTOS SESENTA Y UN EUROS CON CINCUENTA Y SIETE CÉNTIMOS (1.017.961,57 €).

Unidad de obra	Medición	Unidad de medida	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Demolición de viga cantil existente	3.078,80	m3	55	169.334
Excavación en terreno de trasdós	2.076,40	m3	4,08	8.471,71
Hormigón HA-35/P/20/IIIc+Qb	4.553,73	m3	100,95	459.699,04
Acero B-500-S para armaduras	45.905,47	kg	0,81	37.183,43
Bolardo de 50 t de capacidad nominal	17	ud	2.100	35.700
Aristón de cantil	358	m	123,11	44.073,38
Defensas de escudo CSS 1600 g.d 3.0	17	ud	15.500	263.500
			Total	1.017.961,56

Tabla 21. Desglose de mediciones y presupuesto por unidades de obra

Aplicando a esta cifra los porcentajes del 13 % de gastos generales y 6 % de beneficio industrial se obtiene el Presupuesto Base de Licitación, que asciende a la cantidad de UN MILLÓN DOSCIENTOS ONCE MIL TRESCIENTOS SETENTA Y CUATRO EUROS CON VEINTISEIS CÉNTIMOS (1.211.374,26 €).

Si a esta cifra se le aplica el correspondiente 21 % de IVA se obtiene el Presupuesto de Ejecución por Contrata que asciende a la cantidad de UN MILLÓN CUATROCIENTOS SESENTA Y CINCO MIL SETECIENTOS SESENTA Y DOS EUROS CON OCHENTA Y SEIS CÉNTIMOS (1.465.762,86 €).

Unidad de obra	Valor	Unidad	-	Precio (€)
Gastos generales	13	%	-	132.335,01
Beneficio industrial	6	%	-	61.077,69
			Total	1.211.374,26
IVA	21	%	-	254.388,59
			Total	1.465.762,86

Tabla 22. Presupuesto total

10. Normativa de aplicación

Para la redacción del presente estudio se han utilizado las siguientes Normas y Recomendaciones:

- R.O.M. 0.0-01: Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias.
- R.O.M. 2.0-11: Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre.
- R.O.M. 0.2-90: Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias.
- R.O.M. 0.3-91: Recomendaciones para acciones climáticas I: Oleaje.
- R.O.M. 0.4-95: Recomendaciones para acciones climáticas II: Viento.
- R.O.M 0.5-05: Recomendaciones geotécnicas para el proyecto de obras marítimas y portuarias.
- R.O.M. 3.1-99: Recomendaciones para el proyecto de la configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación.
- EHE-08: Instrucción de Hormigón Estructural.
- NCSE-02: Norma de Construcción Sismorresistente.
- Eurocódigo 2. Proyectos de estructuras de hormigón.

VALENCIA, NOVIEMBRE DE 2019

AUTOR:
ALBERTO GALLEGO ALCALÁ

