



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



ANEJO Nº3: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

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.	Introducción.....	1			
2.	Condicionantes de dimensionamiento de la viga cantil.....	1			
2.1.	Sistemas de amarre. Bolardos	1			
2.2.	Sistemas de atraque. Defensas	2			
3.	Alternativas	3			
3.1.	Alternativa 1. Recrecido de viga cantil	3			
3.1.1.	Tipo de defensa. Cilíndrica.....	3			
3.1.2.	Geometría de la viga cantil	3			
3.2.	Alternativa 2. Nueva viga cantil de hormigón armado.....	4			
3.2.1.	Tipo de defensa. Cilíndrica.....	4			
3.2.2.	Geometría de la viga cantil	4			
3.3.	Alternativa 3. Recrecido de viga cantil	5			
3.3.1.	Tipo de defensa. Escudo	5			
3.3.2.	Geometría de la viga cantil	5			
3.4.	Alternativa 4. Nueva viga cantil de hormigón armado.....	6			
3.4.1.	Tipo de defensa. Escudo	6			
3.4.2.	Geometría de la viga cantil	6			
4.	Cálculo de estabilidad para cada alternativa.....	6			
4.1.	Acciones de cálculo.....	7			
4.2.	Estabilidad frente a deslizamiento.....	7			
4.3.	Estabilidad frente a vuelco.....	8			
5.	Análisis comparativo de alternativas.....	9			
5.1.	Repercusión medioambiental	9			
5.2.	Precio de la obra	9			
5.3.	Plazo de ejecución.....	10			
5.4.	Complejidad de la obra	10			
5.5.	Compatibilidad de defensa elegida y buque tipo	11			
5.6.	Adaptabilidad a uso futuro.....	11			
6.	Selección de alternativa.....	11			
7.	Normativa de aplicación	12			

1. Introducción

En el siguiente apartado se van a estudiar, en primer lugar, los condicionantes de dimensionamiento de la viga cantil, atendiendo al tipo de defensa necesaria, los elementos de amarre correspondientes y la tipología de obra a ejecutar. Se van a plantear las diferentes alternativas producidas por la combinación de estos condicionantes.

2. Condicionantes de dimensionamiento de la viga cantil

En este apartado se exponen los diferentes condicionantes a tener en cuenta en el dimensionamiento de la viga cantil, que definirán por tanto cada una de las alternativas propuestas.

Como indica la ROM 2.0-11, las líneas de amarre para el tipo de buque de proyecto y las condiciones del muelle deben ser amarras combinadas (calabrotes) o de fibras sintéticas de alto módulo, teniendo una longitud no menor de 20 metros.

Respecto a la ubicación de los bolardos, deben tener una separación mínima entre borde de cantil y bolardo de 0,15 metros, por lo que se decide establecer una distancia entre eje de bolardo y borde de cantil en todas las alternativas igual a 1,50 metros.

En cuanto a las defensas aisladas, se exige por normativa una separación entre ejes que no exceda el valor $0,17 * L$ y tampoco sea menor de 12-17 metros. Teniendo en cuenta que la eslora del buque tipo es 119 metros:

Eslora de buque tipo (m)	Separación máxima permitida (m)
119	20,23

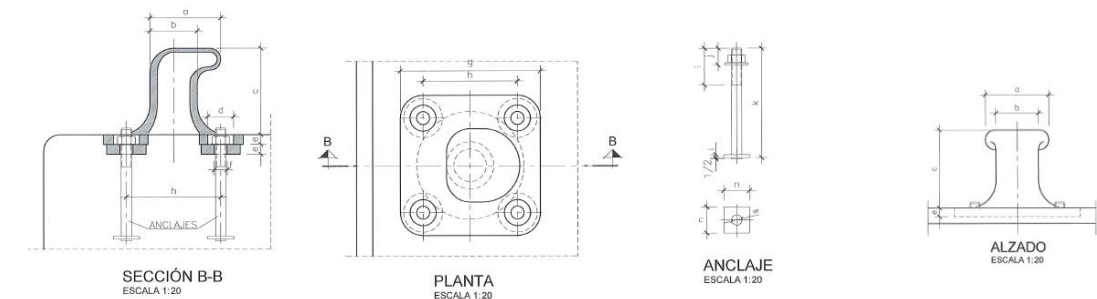
Tabla 1. Separación máxima permitida entre defensas

Se debe diseñar para que una sola defensa sea capaz de absorber, junto con el muelle, la energía de atraque generada por el buque durante esta maniobra.

Finalmente, tras valorar los distintos condicionantes y limitaciones, se establece una distancia entre bolardos de 20 metros, siendo esta distancia también la establecida entre defensas, lo que conformará una alineación de 17 defensas a lo largo de los 358 metros que posee el Muelle 11 del Puerto de Alicante.

2.1. Sistemas de amarre. Bolardos

Atendiendo al tiro de bolardo establecido igual a 35 toneladas, los bolardos que se han decidido colocar son de la misma capacidad nominal que los existentes en el muelle, de 50 t de capacidad. Según el distribuidor PowerPort, estas son las características de los bolardos escogidos como elementos de amarre:



Tiro nominal (Tn)	Bolardo								
	Dimensiones (mm)								
	a	a1	d	d1	d2	e1	e2	h	b
5	470	270	35	82	170	35	35	290	250
10	500	330	40	90	190	40	40	330	280
15	500	330	42	92	200	40	40	350	300
30	600	400	66	130	230	45	45	410	350
50	730	500	75	140	260	50	50	470	400
75	860	580	80	160	290	60	60	530	450
100	940	640	91	180	320	65	65	590	500
125	1000	700	101	190	350	70	70	650	550
150	1000	700	101	190	380	75	75	710	600
175	1150	800	112	210	410	80	80	760	650
200	1230	850	112	210	410	85	85	800	700
225	1300	900	122	225	470	90	90	870	750
250	1400	975	122	225	500	100	100	930	800

Tabla 2. Clasificación de bolardos

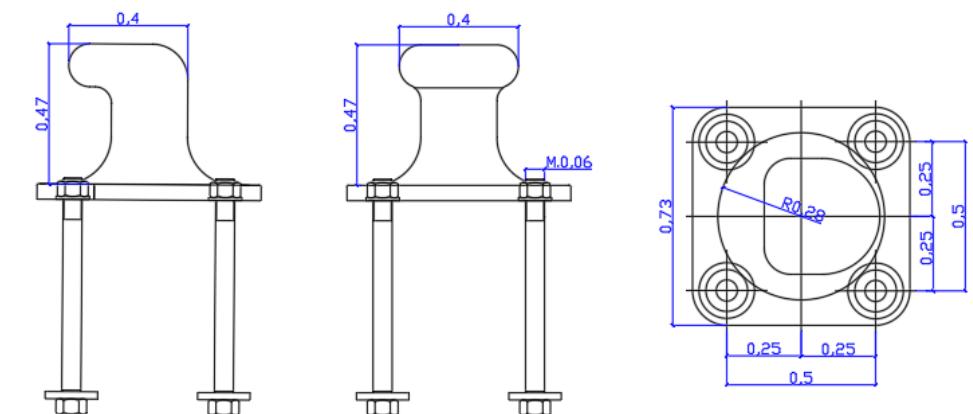


Figura 1. Detalle de bolardos

2.2. Sistemas de atraque. Defensas

Respecto a la elección a las defensas que servirán como elementos de atraque, realizando el producto de la energía aportada por el buque al sistema por el coeficiente de mayoración de seguridad igual a 1,5 obtenemos la energía que se debe tener en cuenta para el diseño de una sola defensa.

El cálculo se realiza en las condiciones climáticas favorables y moderadas (Tipo I y II) siguiendo la metodología de la ROM 2.0-11.

Teniendo en cuenta una energía a absorber de 1.305,1 kN m, la defensa cilíndrica 2200 x 1200 de calidad A y 3 m de longitud es capaz de absorber, de forma aislada, una energía de 1.572 kN m por lo que, en cualquier caso, es mayor que el caso más desfavorable.

La defensa cilíndrica 2200 x 1200 tiene las siguientes características para una longitud de 1 metro:

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

Figura 2. Defensa cilíndrica 2200 x 1200

Para una longitud de 3 metros obtendríamos los siguientes valores máximos:

- Energía máxima a absorber por la defensa = 1.305,5 kN m
- Reacción producida sobre la estructura = 3.249 kN

Dado que el diámetro de la defensa es mayor que 1600 mm, se considera defensa cilíndrica muy grande, y según el fabricante este sería el esquema de anclaje necesario para las defensas:

DETALLES DE FIJACIÓN DEFENSAS CILÍNDRICAS MUY GRANDES

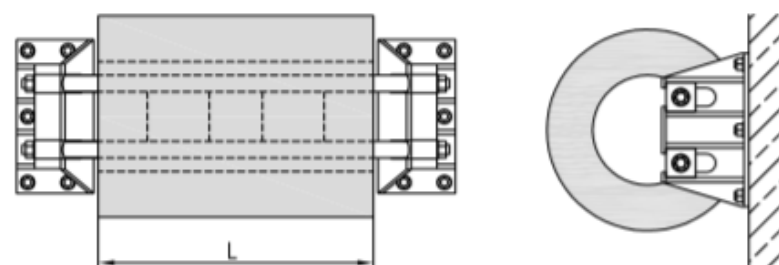


Figura 1. Croquis anclaje defensa cilíndrica 2200 X 1200



Figura 3. Ejemplo defensa cilíndrica

En cuanto a las defensas tipo escudo escogidas para absorber la energía generada por el buque durante el atraque, encontramos el tipo CSS 1600 (tipo celda) con grado de dureza G 3.0 que tiene las siguientes características:

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

Figura 4. Defensa de escudo CSS 1600

- Energía máxima a absorber por la defensa = 1.324 kN m
- Reacción producida sobre la estructura = 1.883 kN

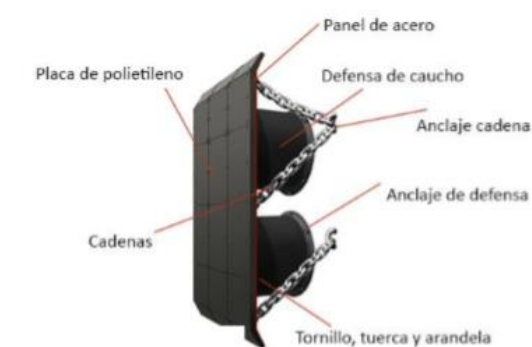


Figura 5. Partes de defensa CSS 1600

3. Alternativas

En este apartado se exponen las diferentes alternativas propuestas como solución para la adecuación de la viga cantil del Muelle 11 del Puerto de Alicante al uso de cruceros.

Se proponen 4 alternativas, pudiéndose dividir en 2 opciones principales dependiendo de la tipología de viga cantil propuesta. En primer lugar, se plantean 2 alternativas de recrecido de viga cantil sobre la viga ya existente y, por otro lado, 2 alternativas referentes a la ejecución de una viga cantil completa tras la demolición de la viga cantil existente completa.

En cada una de estas opciones se plantean dos posibilidades marcadas por el tipo de defensa escogida. Por una parte, el uso de defensas cilíndricas o, por el contrario, el uso de defensas de escudo de estructura cilíndrica.

3.1. Alternativa 1. Recreido de viga cantil

Se trata de un recrecido de la viga cantil sobre la existente que se encuentra apoyada sobre los bloques que conforman el muelle.

En esta solución no se considera la demolición total de la viga cantil existente, sino que se realizaría la demolición de 0,50 metros de espesor de dicha viga ejecutando posteriormente un recrecido con el cual se aumentaría la cota de coronación, para lo que deben considerarse los coeficientes de seguridad a vuelco y deslizamiento. Se puede observar la sección completa del muelle conforme a esta alternativa en el Plano nº4: Secciones Alternativa 1.

3.1.1. Tipo de defensa. Cilíndrica

Respecto al tipo de defensa que se propone para esta alternativa encontramos la cilíndrica. Como se ha comentado anteriormente, teniendo en cuenta el buque tipo para esta actuación y la energía de atraque que genera, la defensa escogida sería la 2200 x 1200 de calidad A y 3 metros de longitud.

3.1.2. Geometría de la viga cantil

- Sección sin defensa

La sección sin defensa tendría las medidas de ancho y canto 4,80 x 1,20 metros a lo largo de los 358 metros de muelle excluyendo los tramos donde se ejecutan las defensas. Cabe destacar la existencia de un tramo

en voladizo de 0,5 metros, por lo que los restantes 4,30 metros se encuentran apoyados sobre la viga cantil existente de hormigón en masa no demolida. De esta manera, con la demolición previa de 0,50 metros de viga cantil y la ejecución de 1,20 metros de canto de nueva viga cantil, se alcanzaría una cota de coronación igual a 2,60 metros.

Para garantizar la resistencia de la viga a deslizamiento al no existir contracantil, sería necesario comprobar la estabilidad de esta propuesta y, en caso de no cumplir alguno de los condicionantes, se debería modificar realizando el atado continuo entre el recrecido propuesto y los bloques necesarios.

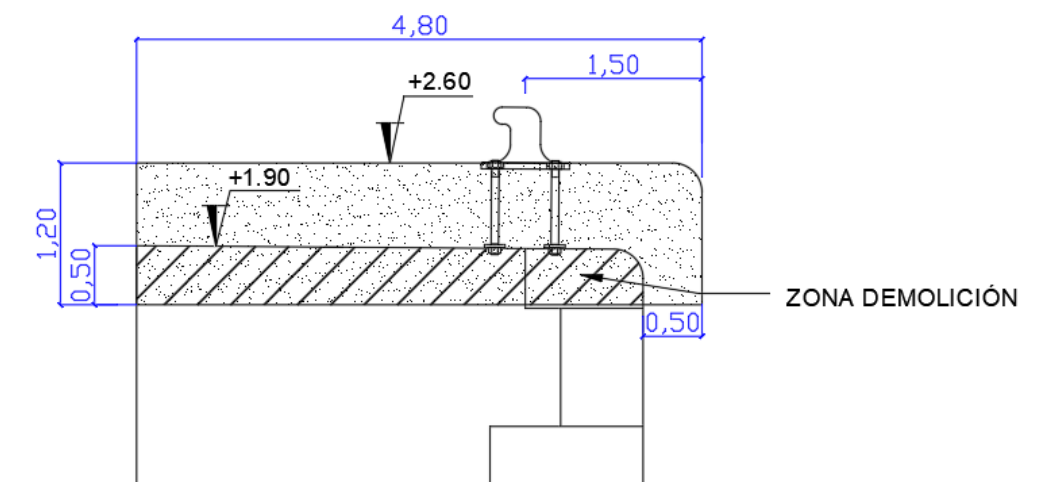


Figura 6. Sección sin defensas Alternativa 1

- Sección con defensa

En la sección con defensa la geometría de la viga cantil será de dimensiones mayores para poder albergar las defensas consideradas en proyecto y sus fijaciones correspondientes.

Se ha optado por ejecutar faldones de 5,00 metros de longitud y medidas 1,80 x 0,50 metros hasta llegar a un canto total de 3,00 metros en el faldón que servirán de apoyo y soporte de las defensas cilíndricas 2200 x 1200 de calidad A y 3 metros de longitud.

De esta manera, el volumen de hormigón necesario correspondiente a la alternativa 1 es el siguiente:

Sección sin defensa: $1,20 \times 4,80 \times 358 = 2.062,08 \text{ m}^3$ de hormigón armado

Faldones: $1,80 \times 0,70 \times 5,00 \times 17 = 6,30 \times 17 = 107,10 \text{ m}^3$ de hormigón armado

Total de viga cantil: $2.062,08 + 107,10 = 2.169,18 \text{ m}^3$ de hormigón

Se considera una estimación de 100 kg/m³ de hormigón armada, por lo que se necesitaría 216.918 Kg de hormigón.

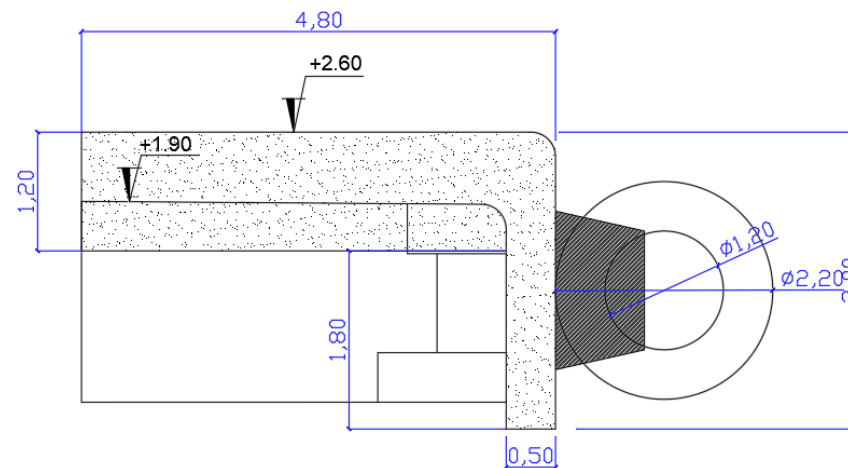


Figura 7. Sección con defensa Alternativa 1

3.2. Alternativa 2. Nueva viga cantil de hormigón armado

Se propone modificar la superestructura de la viga cantil, ejecutando una nueva viga cantil de hormigón armado tras demoler la existente en su totalidad para que, de esta manera, aumente la capacidad resistente ante la energía de atraque. Se puede observar la sección completa del muelle conforme a esta alternativa en el Plano nº5: Secciones Alternativa 2.

3.2.1. Tipo de defensa. Cilíndrica

El sistema de defensas definido para esta alternativa es el mismo que para la alternativa 1 a través de defensas cilíndricas.

3.2.2. Geometría de la viga cantil

- Sección sin defensa

La viga cantil resultante tendría las siguientes medidas en las secciones sin defensa de ancho y canto 4,70 x 2,70 con 0,70 metros de voladizo a lo largo de los 358 metros de muelle salvo en los tramos de viga que albergan las defensas.

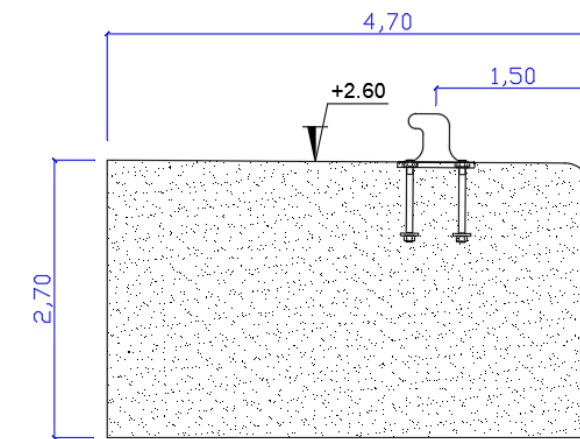


Figura 8. Sección sin defensa Alternativa 2

- Sección con defensa

La sección que alberga las defensas tendrá unas dimensiones 4,70 x 2,70 pero, en lugar de tener 0,70 metros de vuelo con un canto de 2,70 metros, se ejecutaría un faldón de 0,30 metros hasta alcanzar un canto de 3,00 metros necesario para servir de soporte de las defensas proyectadas.

De esta manera, el volumen de hormigón necesario correspondiente a la alternativa 1 es el siguiente:

Sección sin defensa: $2,70 \times 4,70 \times 358 = 4.543,02$ m³ de hormigón armado

Faldones: $1,80 \times 0,70 \times 5,00 \times 17 = 6,30 \times 17 = 107,10$ m³ de hormigón armado

Total de viga cantil: $4.543,02 + 107,10 = 4.650,12$ m³ de hormigón

Se considera una estimación de 100 kg/m³ de hormigón armada, por lo que se necesitaría 465.012 Kg de hormigón.

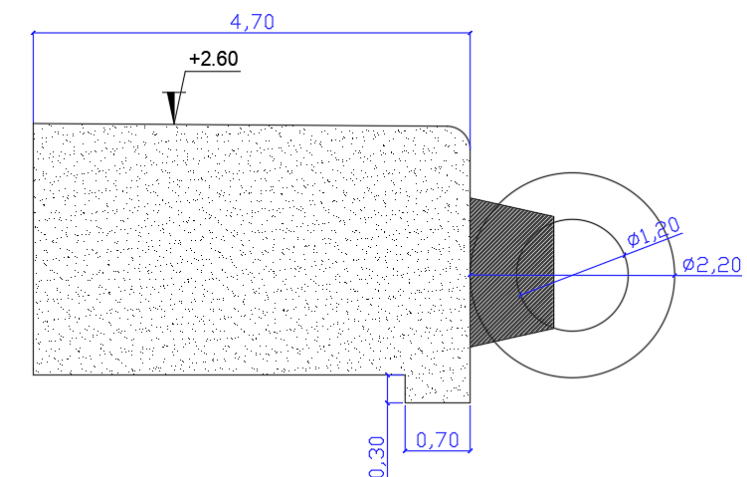


Figura 9. Sección con defensa Alternativa 2

3.3. Alternativa 3. Recrecido de viga cantil

Esta alternativa consiste en la ejecución de un recrecido de la viga cantil existente, demoliendo previamente 0,50 metros de esta al igual que se propone en la alternativa 1. Se puede observar la sección completa del muelle conforme a esta alternativa en el Plano nº6: Secciones Alternativa 3.

3.3.1. Tipo de defensa. Escudo

Al contrario que las dos alternativas anteriores, se propone una defensa tipo escudo que absorba la energía generada en el atraque del buque tipo. La defensa elegida es la CSS 1600 y grado de dureza 3.0, definida en apartados anteriores.

3.3.2. Geometría de la viga cantil

- Sección sin defensa

Las medidas de la viga cantil en la sección sin defensa propuestas para la alternativa 3 son las mismas que para la alternativa 1.

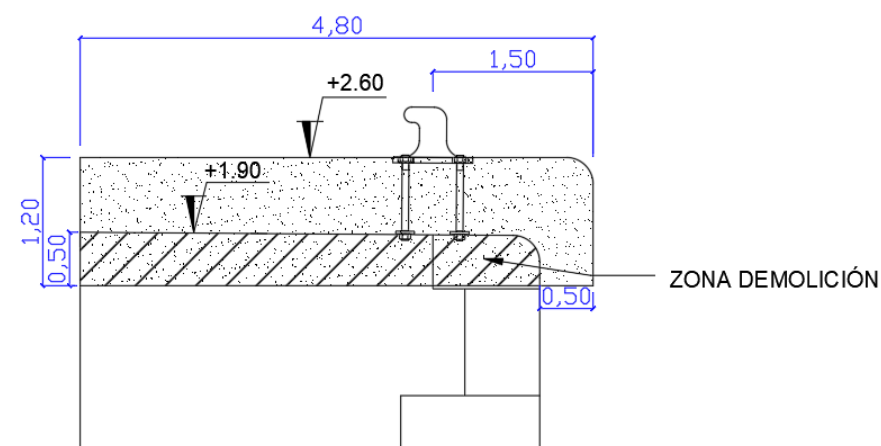


Figura 10. Sección sin defensa Alternativa 3

- Sección con defensa

Las medidas de la viga cantil en la sección de la defensa consistirá en un faldón de 3,00 metros con un canto de 1,80 metros más el canto correspondiente de 1,20 metros de la superestructura, donde se alojará la defensa de escudo con estructura cilíndrica. El cilindro tiene un diámetro de 1960 mm y una longitud de 1600 mm, y será colocado con centro de la base de la estructura cilíndrica a 1,50 metros de la cota de coronación.

El escudo metálico que sustentará será de medidas 2,80 x 2,80 metros, generando un faldón con ancho 3,00 metro, 1,80 metros de alto y 0,70 metros de profundidad, que albergará los 8 pernos M16 y 0,5 metros de longitud que necesita el cilindro como sujeción.

De esta manera, el volumen de hormigón necesario correspondiente a la alternativa 1 es el siguiente:

Sección sin defensa: $1,20 \times 4,80 \times 358 = 2.062,08$ m³ de hormigón armado

Faldones: $0,30 \times 0,70 \times 3,00 \times 17 = 0,63 \times 17 = 10,71$ m³ de hormigón armado

Total de viga cantil: $2.062,08 + 10,71 = 2.072,79$ m³ de hormigón

Se considera una estimación de 100 kg/m³ de hormigón armada, por lo que se necesitaría 207.279 Kg de hormigón.

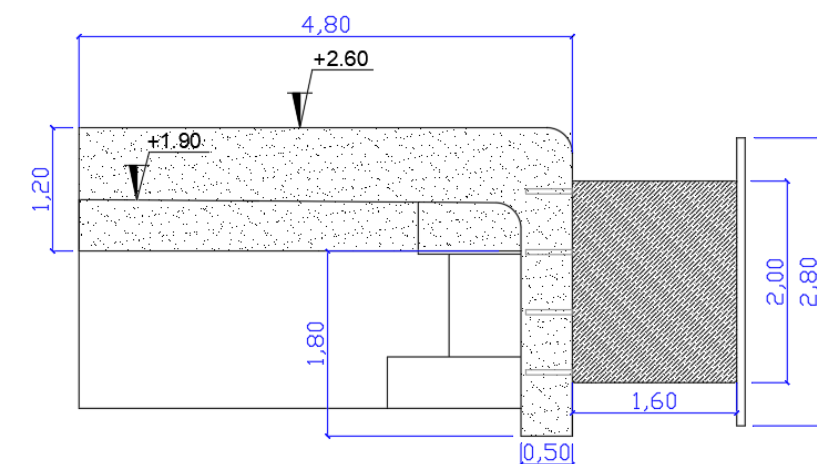


Figura 11. Sección con defensa Alternativa 3

INSTALLATION CLEARANCES

Fender Size	H [mm]	I [mm]	J [mm]	ED [mm]
CSS 400	400	240	600	480
CSS 500	500	300	750	510
CSS 600	600	360	900	570
CSS 800	800	480	1.200	700
CSS 1000	1.000	600	1.500	850
CSS 1150	1.150	690	1.725	990
CSS 1250	1.250	750	1.875	1.060
CSS 1450	1.450	870	2.175	1.200
CSS 1600	1.600	960	2.400	1.270
CSS 1700	1.700	1.020	2.550	1.470
CSS 2000	2.000	1.200	3.000	1.560
CSS 2250	2.250	1.350	3.375	1.710
CSS 2500	2.500	1.500	3.750	1.910
CSS 3000	3.000	1.800	4.500	2.240

The fender system design should allow for:

- increased diameter of CSS Fenders during compression [I]
- sufficient clearance of front panel [J]
- minimum edge distance for anchoring and to other protrusions [ED]
- angular compression

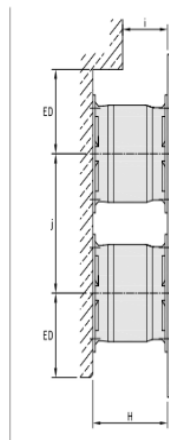


Figura 12. Defensa de escudo. Parámetros de instalación

3.4. Alternativa 4. Nueva viga cantil de hormigón armado

En esta alternativa se considera la ejecución de una nueva viga cantil de hormigón armado que resista los esfuerzos generados por el atraque de los buques definidos anteriormente. Se puede observar la sección completa del muelle conforme a esta alternativa en el Plano nº7: Secciones Alternativa 4.

3.4.1. Tipo de defensa. Escudo

Para esta alternativa se ha decidido definir un sistema de defensas de escudo de estructura cilíndrica que, como se ha desarrollado anteriormente, debe absorber la energía calculada de atraque, por lo que esta defensa será la CSS 1600 con grado de dureza G 3.0, al igual que en la alternativa 3.

3.4.2. Geometría de la viga cantil

- Sección sin defensa

La geometría de la viga cantil sin defensa de la alternativa 4 es la misma que para la alternativa 2 definida anteriormente.

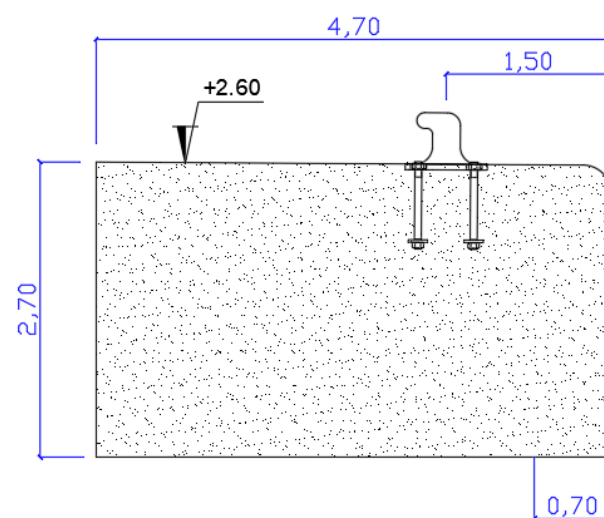


Figura 13. Sección sin defensa Alternativa 4

- Sección con defensa

La geometría del faldón necesario para albergar las defensas CSS 1600 grado de dureza 3.0 será de un canto de 3,00 metros con un canto de faldón de 0,30 metros y un ancho de 0,70 metros para las 17 defensas.

De esta manera, el volumen de hormigón necesario correspondiente a la alternativa 1 es el siguiente:

Sección sin defensa: $2,70 \times 4,70 \times 358 = 4.543,02$ m³ de hormigón armado

Faldones: $0,30 \times 0,70 \times 3,00 \times 17 = 0,63 \times 17 = 10,71$ m³ de hormigón armado

Total de viga cantil: $4.543,02 + 10,71 = 4.553,73$ m³ de hormigón

Se considera una estimación de 100 kg/m³ de hormigón armada, por lo que se necesitaría 455.373 Kg de hormigón.

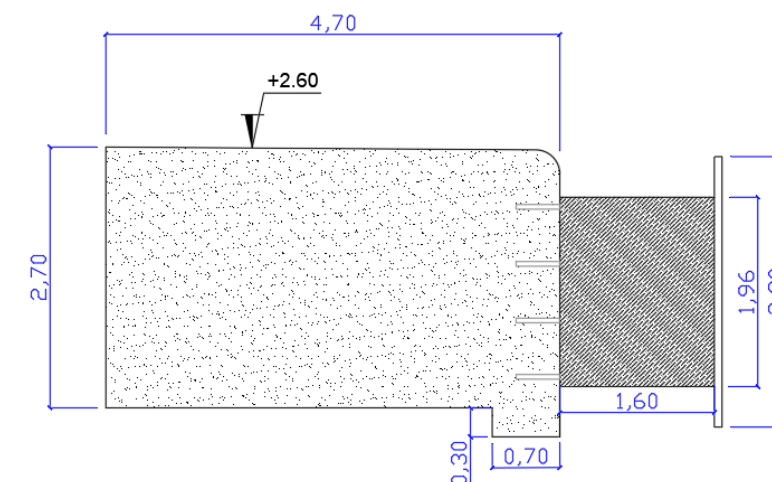


Figura 14. Sección con defensa Alternativa 4

4. Cálculo de estabilidad para cada alternativa

En este apartado se van a realizar los cálculos y comprobaciones necesarias para verificar la viabilidad de cada una de las alternativas propuestas. Esta verificación se debe realizar respecto al comportamiento de las superestructuras propuestas a fallo por deslizamiento y a fallo por vuelco.

Para realizarlas, se seguirán las directrices marcadas por la ROM 0.5-05 que establece el cumplimiento de los siguientes coeficientes de seguridad mínimos para el dimensionamiento de la viga cantil:

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

Tabla 3. Coeficientes de seguridad mínimos

También se establecen los coeficientes de ponderación y combinación de las distintas cargas para las comprobaciones de modos de fallo y son los siguientes:

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

Tabla 4. Coeficientes de ponderación ELU

4.1. Acciones de cálculo

Para efectuar estas comprobaciones se lleva a cabo el cálculo de la resultante de las acciones de cálculo, siendo ponderadas y combinadas por los coeficientes anteriormente mostrados, además del cálculo de los momentos asociados a la arista frontal superior del bloque de hormigón en masa superior o de la viga cantil existente, según la alternativa analizada, por lo que se ha considerado la acción generada por el tiro de bolardo como la predominante, y se muestran en la siguiente tabla:

- 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	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 5. Acciones de cálculo Alternativa 1

- 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	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 6. Acciones de cálculo Alternativa 2

- 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	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 7. Acciones de cálculo Alternativa 3

- Alternativa 4

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 8. Acciones de cálculo Alternativa 4

4.2. Estabilidad frente a deslizamiento

Para hallar el coeficiente de seguridad resultante y poder compararlo con el coeficiente de seguridad mínimo establecido por la ROM 0.5-05 se debe realizar el cociente entre la fuerza de rozamiento movilizada y la resultante de las fuerzas horizontales.

$$C_{dest.} = \frac{F_{rozamiento}}{Resultante\ de\ fuerzas\ horizontales} = \frac{Coeficiente\ de\ rozamiento * Resultante\ de\ fuerzas\ verticales}{Resultante\ de\ fuerzas\ horizontales}$$

	Estabilidad frente a deslizamiento				
	Resultante vertical	Resultante horizontal	Coeficiente rozamiento entre hormigones	Coeficiente 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 9. Estabilidad frente a deslizamiento

Como se puede observar en la tabla anterior, las geometrías referentes a todas las alternativas propuestas pueden ser validadas frente a deslizamiento ya que cumplen el requisito de coeficiente de seguridad superior al mínimo establecido.

Sin embargo, y teniendo en cuenta el deficiente estado del tramo de viga cantil existente correspondiente tanto a la alternativa 1 como a la alternativa 3, se planea una mejora en dichas propuestas consistente en realizar el atado mediante armaduras de acero de conexión entre la viga cantil a ejecutar, el tramo de viga existente y el bloque inmediatamente inferior a esta para que, de esta manera, ejerzan como un bloque único frente a las solicitaciones y acciones que puedan recibir.

Por lo tanto, en las comprobaciones frente a modo de fallo deslizamiento y vuelco, como se verá en el siguiente apartado, se recalculan las acciones a considerar en ambas alternativas y se realizan las comprobaciones para ambos modos de fallo.

Las acciones de cálculo para las modificaciones indicadas son las siguientes:

- 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	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 10. Acciones de cálculo Alternativa 1 modificada

- 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	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 11. Acciones de cálculo Alternativa 3 modificada

El coeficiente de deslizamiento para las alternativas 1 y 3 modificadas se comprueba a continuación:

	Estabilidad frente a deslizamiento				
	Resultante vertical	Resultante horizontal	Coeficiente rozamiento entre hormigones	Coeficiente 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 12. Estabilidad frente a deslizamiento Alternativas 1 y 3 modificadas

De esta manera, se pueden validar las geometrías propuestas en las alternativas 1 y 3 actuando en conjunto con el tramo de viga cantil existente sin demoler y el bloque inferior mediante atado frente a fallo por deslizamiento ya que los coeficientes de cálculo son superiores en ambos casos al mínimo exigido de 1,80.

4.3. Estabilidad frente a vuelco

Para verificar el comportamiento frente al modo de fallo a vuelco rígido de cada una de las alternativas, se debe comparar el coeficiente de seguridad mínimo con el coeficiente de seguridad de cálculo que se obtiene realizando el cociente entre el momento estabilizador y el momento volcador de la viga.

	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 13. Estabilidad frente a vuelco

Por lo tanto, se afirma que todas las alternativas cumplen la estabilidad frente a vuelco y, de esta manera, se valida la geometría propuesta bajo este condicionante.

Se comprueba también, dadas las modificaciones realizadas en las alternativas 1 y 3 el fallo frente a vuelco de dichas propuestas.

	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 14. Estabilidad frente a vuelco Alternativas 1 y 3 modificadas

Se comprueba que ambas soluciones siguen siendo validadas frente a fallo por vuelco. Por lo tanto, para el análisis comparativo, tanto la alternativa 1 como la alternativa 3 se considerarán con el cosido mediante armaduras de conexión con la viga cantil existente y bloque inferior.

5. Análisis comparativo de alternativas

Una vez enunciadas y definidas cada una de las alternativas propuestas, se realiza un análisis comparativo de las mismas teniendo en cuenta distintos criterios de valoración, los cuales ponderan respecto a la importancia definida, con valores entre 0 y 1, siendo calificado con 1 al criterio de mayor importancia y con 0 al de menor, sumando entre todos los coeficientes de ponderación un valor de 1.

Dentro de cada uno de los criterios de valoración que se van a definir a continuación, se le dará un valor numérico entre 1 y 5 a cada una de las alternativas, que más tarde será ponderado, siendo 1 el valor más desfavorable y 5 el más favorable.

Por lo tanto, definido el criterio de valoración y la puntuación de cada una de las opciones, la alternativa elegida será la que mayor puntuación adquiera.

Los criterios de valoración se pueden clasificar en funcionales, de ejecución, económicos y medioambientales y son los siguientes:

- Repercusión medioambiental
- Precio de la obra
- Plazo de ejecución
- Complejidad de la obra
- Compatibilidad de defensa elegida y buque tipo
- Adaptabilidad a uso futuro

Criterio	Clasificación de criterio	Coeficiente 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 15. Criterios de selección y coeficientes de ponderación

5.1. Repercusión medioambiental

En este criterio se valora la repercusión medioambiental que genera cada una de las alternativas, basándose en el volumen de obra, más concretamente el volumen de materiales (hormigón y armado) utilizado, además de la tipología de defensa y los materiales que la componen (metálicos, caucho, entre otros).

Repercusión medioambiental	Puntuación
Alternativa 1	4
Alternativa 2	3
Alternativa 3	5
Alternativa 4	4

Tabla 16. Repercusión medioambiental

5.2. Precio de la obra

Se identifican como principales condicionantes en el precio de la obra, es decir, como actuaciones de mayor volumen de obra los siguientes aspectos, que serán los valorados para otorgar un valor proporcional de importancia a cada una de las alternativas respecto al precio total.

- Precio de las defensas
- Demolición hasta cota correspondiente
- Hormigón HA-35/P/20/IIIc+Qb
- Mortero, armadura y perforación para cosido de bloques

Esta última unidad de obra únicamente afectará a las alternativas 1 y 3, correspondientes a los recrecidos de viga cantil que necesitan el cosido a la viga cantil existente y bloque inferior.

Para el resto de las unidades de obra se considera que intervienen en la valoración económica de forma menos condicionantes o existentes en todas las alternativas en la misma cantidad o en un orden de magnitud similar, lo que no genera una repercusión de relevancia en la elección de la alternativa. En el anejo nº5 Mediciones y Valoración Económica se identificarán más unidades de obra que si se consideran determinantes en el cálculo del presupuesto final.

A continuación, se expone un comparativo de precios de las unidades de obra indicadas para cada una de las alternativas y, de esta manera, se realiza una ponderación adecuada respecto a los precios totales correspondientes.

Alternativa 1				
Unidad de obra	Medición	Unidades	Precio unitario €	Precio €
Demolición de viga cantil existente medios mecánicos c/transporte	769,7	m3	55	42.333,5
Hormigón para viga cantil HA-35/P/20/IIIc+Qb	2.184,48	m3	100,95	220.523,256
Defensas cilíndrica 2200 x 1200 Shibata Fender Team	17	Ud	12.500	212.500
Armadura, mortero y perforación para cosido de bloques	-	-	-	98.736,225
Precio total de Alternativa 1				574.092,98

Tabla 17. Precio unidades de obra principales Alternativa 1

Alternativa 2				
Unidad de obra	Medición	Unidades	Precio unitario €	Precio €
Demolición de viga cantil existente medios mecánicos c/transporte	3.078,8	m3	55	169.334
Hormigón para viga cantil HA-35/P/20/IIIc+Qb	4.560,87	m3	100,95	460.419,827
Defensas cilíndrica 2200 x 1200 Shibata Fender Team	17	Ud	12.500	212.500
Precio total de Alternativa 2				842.253,83

Tabla 18. Precio unidades de obra principales Alternativa 2

Alternativa 3				
Unidad de obra	Medición	Unidades	Precio unitario €	Precio €
Demolición de viga cantil existente medios mecánicos c/transporte	769,7	m3	55	42.333,5
Hormigón para viga cantil HA-35/P/20/IIIc+Qb	2.135,52	m3	100,95	215.580,744
Defensas de escudo CSS 1600 Shibata Fender Team	17	Ud	15.500	263.500
Armadura, mortero y perforación para cosido de bloques	-	-	-	98.736,225
Precio total de Alternativa 3				620.150,47

Tabla 19. Precio unidades de obra principales Alternativa 3

Alternativa 4				
Unidad de obra	Medición	Unidades	Precio unitario €	Precio €
Demolición de viga cantil existente medios mecánicos c/transporte	3.078,8	m3	55	169.334
Hormigón para viga cantil HA-35/P/20/IIIc+Qb	4.553,73	m3	100,95	459.699,044
Defensas de escudo CSS 1600 Shibata Fender Team	17	Ud	15.500	263.500
Precio total de Alternativa 4				892.533,04

Tabla 20. Precio unidades de obra principales Alternativa 4

Se le asigna un valor de 5 a la alternativa más económica, en este caso la alternativa 1, y un valor de 1 a la de mayor presupuesto y, por interpolación, se calcula el valor de las alternativas 2, 3. De esta manera la puntuación correspondiente a cada alternativa es la siguiente:

Precio de la obra	Puntuación
Alternativa 1	5
Alternativa 2	1,24
Alternativa 3	3,77
Alternativa 4	1

Tabla 20. Precio de la obra

5.3. Plazo de ejecución

Para valorar el plazo de ejecución de la obra, se valora por una parte la demolición y construcción necesaria, ya sea demolición parcial y recrecido o demolición completa y ejecución de la viga cantil, y por otra parte la instalación y ejecución de las defensas.

Plazo de ejecución	Puntuación
Alternativa 1	4
Alternativa 2	2
Alternativa 3	3
Alternativa 4	3

Tabla 21. Plazo de ejecución

5.4. Complejidad de la obra

La complejidad de la obra se basa en dos aspectos. El primero será la demolición o no de la viga cantil completa o únicamente realizar un recrecido, además de ejecutar un bloque completo de hormigón en el primer caso, que requerirá mayor tiempo de ejecución y complejidad. Por otra parte, la complejidad de la obra será marcada por la instalación de las defensas correspondientes.

Complejidad de la obra	Puntuación
Alternativa 1	4
Alternativa 2	5
Alternativa 3	3
Alternativa 4	5

Tabla 22. Complejidad de la obra

5.5. Compatibilidad de defensa elegida y buque tipo

Se considera el criterio de mayor relevancia en la elección de la alternativa, siendo definido el buque tipo Crucero, y las medidas que tienen este tipo de buques, en concreto el buque tipo elegido clase 175.

Se ha valorado en dos bloques, diferenciando en alternativas 1 y 2 con defensa cilíndrica, y alternativas 3 y 4 con defensa de escudo y estructura cilíndrica.

Compatibilidad de defensa elegida y buque tipo	Puntuación
Alternativa 1	3
Alternativa 2	3
Alternativa 3	5
Alternativa 4	5

Tabla 23. Compatibilidad defensa-buque

5.6. Adaptabilidad a uso futuro

Este criterio se basa en el tipo de defensas utilizado y en las dimensiones y resistencia de la viga cantil ejecutada.

Adaptabilidad a uso futuro	Puntuación
Alternativa 1	2
Alternativa 2	3
Alternativa 3	3
Alternativa 4	5

Tabla 24. Adaptabilidad a uso futuro

6. Selección de alternativa

Se ha realizado la ponderación por la importancia de cada criterio definido, tanto económico como funcional y de ejecución que se ha considerado, y el resultado es el siguiente:

Alternativa 1:

Criterio	Clasificación de criterio	Puntuación	Coefficiente de ponderación	Puntuación ponderada
Repercusión medioambiental	Medioambiental	4	0,20	0,80
Precio de la obra	Económico	5	0,10	0,50
Plazo de ejecución	Ejecución	4	0,10	0,40
Complejidad de la obra	Ejecución	4	0,10	0,40
Compatibilidad defensa/buque	Funcional	3	0,30	0,90
Adaptabilidad a uso futuro	Funcional	2	0,20	0,40
TOTAL				3,4

Tabla 25. Puntuación Alternativa 1

Alternativa 2:

Criterio	Clasificación de criterio	Puntuación	Coefficiente de ponderación	Puntuación ponderada
Repercusión medioambiental	Medioambiental	3	0,20	0,6
Precio de la obra	Económico	1,24	0,10	0,124
Plazo de ejecución	Ejecución	2	0,10	0,20
Complejidad de la obra	Ejecución	5	0,10	0,50
Compatibilidad defensa/buque	Funcional	3	0,30	0,90
Adaptabilidad a uso futuro	Funcional	3	0,20	0,60
TOTAL				2,924

Tabla 26. Puntuación Alternativa 2

Alternativa 3:

Criterio	Clasificación de criterio	Puntuación	Coeficiente de ponderación	Puntuación ponderada
Repercusión medioambiental	Medioambiental	5	0,20	1,00
Precio de la obra	Económico	3,77	0,10	0,377
Plazo de ejecución	Ejecución	3	0,10	0,30
Complejidad de la obra	Ejecución	3	0,10	0,30
Compatibilidad defensa/buque	Funcional	5	0,30	1,50
Adaptabilidad a uso futuro	Funcional	3	0,20	0,60
TOTAL				4,077

Tabla 27. Puntuación Alternativa 3

Alternativa 4:

Criterio	Clasificación de criterio	Puntuación	Coeficiente de ponderación	Puntuación ponderada
Repercusión medioambiental	Medioambiental	4	0,20	0,80
Precio de la obra	Económico	1	0,10	0,10
Plazo de ejecución	Ejecución	3	0,10	0,30
Complejidad de la obra	Ejecución	5	0,10	0,50
Compatibilidad defensa/buque	Funcional	5	0,30	1,50
Adaptabilidad a uso futuro	Funcional	5	0,20	1,00
TOTAL				4,20

Tabla 28. Puntuación Alternativa 4

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**.

7. Normativa de aplicación

Para la redacción del presente anejo 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. 0.2-90: Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias.
- Manual de diseño de defensas de Shibata Fender Team (SFT).
- Fichas técnicas de defensas de Shibata Fender Team (SFT).
- 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