



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



ANEJO Nº2: BASES DE DISEÑO

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 e información de partida	1	3.1.3.	Parámetros del terreno	5
1.1.	Introducción.....	1	3.1.4.	Parámetros del medio físico.....	6
1.2.	Información de partida	1	3.2.	Topografía y batimetría	6
2.	Criterios generales de proyecto	2	3.2.1.	Altimetría.....	6
2.1.	Definición de tramos.....	2	3.2.2.	Planimetría	6
2.2.	Carácter general	2	3.2.3.	Batimetría.....	6
2.2.1.	Índice de Repercusión Económica, IRE	2	3.3.	Estudio geológico y geotécnico	8
2.2.2.	Índice de Repercusión Social y Ambiental, ISA.....	3	3.3.1.	Introducción	8
2.3.	Carácter operativo	3	3.3.2.	Información previa	8
2.3.1.	Índice de Repercusión Económica Operativo, IREO	3	3.3.3.	Campaña geotécnica	9
2.3.2.	Índice de Repercusión Social y Ambiental Operativo, ISAO	3	3.4.	Agentes y acciones	10
2.4.	Fases de proyecto y duración	4	3.4.1.	Agentes climáticos.....	10
2.4.1.	Vida útil.....	4	3.4.1.1.	Oleaje exterior.....	11
2.4.2.	Duración de las fases	4	3.4.1.2.	Viento	11
2.5.	Criterios de seguridad, servicio y explotación.....	4	3.4.1.3.	Nivel de marea	13
2.5.1.	Fiabilidad frente a ELU	4	3.4.2.	Agente Sismo.....	13
2.5.2.	Funcionalidad frente a ELS.....	4	3.4.3.	Agentes de uso y explotación.....	13
2.5.3.	Operatividad frente a ELO	4	3.4.3.1.	Sobrecarga, operación y almacenamiento	13
2.5.4.	Periodo de retorno	4	3.4.3.1.1.	Embarque y desembarque de pasajeros. Pasarela	14
3.	Definición de estados a considerar	5	3.4.3.1.2.	Elementos de amarre y atraque	14
3.1.	Parámetros de proyecto	5	3.4.3.1.3.	Buque tipo.....	14
3.1.1.	Introducción.....	5	3.4.3.1.4.	Sistema de atraque.....	17
3.1.2.	Parámetros geométricos. Niveles de referencia	5	3.4.3.1.4.1.	Coeficientes.....	17

3.4.3.1.4.1.1.	Coeficiente de masa hidrodinámica C_m	17
3.4.3.1.4.1.2.	Coeficiente de bloque C_b	17
3.4.3.1.4.1.3.	Coeficiente de excentricidad C_e	17
3.4.3.1.4.1.4.	Coeficiente de configuración de atraque C_c	17
3.4.3.1.4.1.5.	Coeficiente de rigidez del sistema de atraque C_s	18
3.4.3.1.4.1.6.	Coeficiente geométrico del buque C_g	18
3.4.3.1.4.2.	Desplazamiento	18
3.4.3.1.4.3.	Velocidad de aproximación.....	18
3.4.3.1.4.4.	Energía cinética.....	19
3.4.3.1.4.5.	Energía a absorber	19
3.4.3.1.4.6.	Cuadro resumen de energías	19
3.4.3.1.5.	Sistema de amarre	19
3.4.3.1.6.	Tiro de bolardo	20
3.4.3.1.6.1.	Configuración de las amarras.....	21
4.	Procedimientos de verificación	22
4.1.	Modos de fallo adscritos a estados límite.....	22
4.1.1.	Modos de fallo ELU	22
4.1.2.	Modos de fallo ELS.....	22
4.2.	Condiciones de trabajo	22
4.3.	Duración de las fases	23
4.4.	Criterios de combinación de acciones	23
5.	Normativa de aplicación	24

1. Introducción e información de partida

1.1. Introducción

En el siguiente apartado se exponen los condicionantes y las características de mayor importancia consideradas para la adecuación de la viga cantil del Muelle 11 del Puerto de Alicante al uso de cruceros.

Respecto a las características, además de las expuestas en el apartado situación actual del Anejo nº1 Antecedentes, y de la tipología de muelle definida en el apartado Antecedentes de este, encontramos una cota de coronación de entre 1,90 a 2 metros referido al Cero del Puerto de Alicante.

En cuanto al ancho del área de almacenamiento y del área de operaciones son de 52 y 25 metros respectivamente, además de una orientación de la alineación NE-SE.

1.2. Información de partida

La información utilizada en este estudio de alternativas es la siguiente:

- “Proyecto de construcción de la adecuación de la viga cantil del Muelle 11, Puerto de Alicante”, Julio 2018

El cual toma como información de partida los siguientes documentos:

A. Facilitada por la Autoridad Portuaria de Alicante

- “Proyecto reformado del modificado de nuevos Muelles en Poniente y dársena de embarcaciones de pesca del Puerto de Alicante”, 1955 (Proyecto de liquidación del año 1958).
- “Proyecto de Ampliación del Muelle Nº11”, del año 1975 (Proyecto de liquidación del año 1979).
- “Proyecto de ampliación del Muelle 11 y 7+9 del Puerto de Alicante”, de fecha junio de 2003.
- “Proyecto de Construcción de la prolongación del Muelle 13 del Puerto de Alicante”, de fecha julio 2017.
- Información topográfica, batimétrica y geotécnica más reciente de la zona de actuación.

Incluye:

- Levantamiento taquimétrico del Muelle Nº11 del Puerto de Alicante, de fecha febrero de 2018.
 - Informe geotécnico del “Proyecto de Construcción de la prolongación del Muelle 13 del Puerto de Alicante”, julio 2017.
 - Campaña de prospección geotécnica para la ampliación de los Muelles 7 y 11 del Puerto de Alicante, del año 2002.
 - Anejo Geotécnico del “Proyecto y Obra para la Construcción del Muelle nº15 situado en la Dársena Central de la Unidad Portuaria de Poniente de Alicante”, año 1993.
 - Informe sobre el reconocimiento y estudio geotécnico para la mejora de calados del Muelle 11 en el Puerto de Alicante. INTEMAC, octubre de 1986.
- “Estudio de agitación para el Proyecto de remodelación de las instalaciones del Puerto de Alicante”, desarrollado por el CEDEX a petición de la APA con fecha junio de 2010.
- B. Procedente de los estudios (topografía, batimetría y estudio geotécnico) realizados en la FASE I del Proyecto. La definición de las campañas parte del alcance establecido en el Pliego de Bases Técnicas completado con el criterio técnico de los autores del Proyecto, en cumplimiento de las recomendaciones de obras marítimas (ROM).

2. Criterios generales de proyecto

2.1. Definición de tramos

Para el análisis de la zona de proyecto, según la ROM 2.0-11, es necesario la división de la zona de atraque y amarre en tramos con factores de proyecto homogéneos, entendiéndose factores de proyecto como geometría de la obra y del terreno y características del terreno, entre otras. Además, encontramos como factores condicionantes las posibles repercusiones por fallo o parada operativa.

En el Muelle 11 se pueden diferenciar 2 tramos marcados por el condicionante de diferencia de calado.

En el Tramo 1 existe un calado entre las cotas -8 y -9 metros mientras que al tramo 2 le corresponde un calado comprendido entre las cotas -9 y -10,20 metros.

Respecto a sus longitudes, el tramo 1 tiene una longitud de 145 metros y un uso en la actualidad comercial para mercancía general ordinaria. El tramo 2 tiene un uso comercial para granel sólido y eventualmente para mercancía general y una longitud de 200 metros.

Dado el objetivo de este estudio, se unifican ambos tramos del Muelle 11 del Puerto de Alicante tanto en alineación como en uso, siendo éste el atraque y amarre de buques de pasajeros tipo crucero, por lo que esta división en tramos no será aplicada a efectos de cálculos y diseño.



Figura 1. Definición de tramos

El resto de las características en relación con el medio físico y materiales de construcción son consideradas homogéneas por lo que no repercuten en la división en tramos.

2.2. Carácter general

Se determina de acuerdo con el procedimiento indicado en la ROM 0.0. "Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias", a partir de los índices de repercusión económica (IRE) y de repercusión social y ambiental (ISA).

2.2.1. Índice de Repercusión Económica, IRE

Dado que los dos tramos son diseñados al uso de cruceros, la vida útil mínima es de 25 años y un índice IRE r_2 .

USO	TIPO DE MERCANCÍA	ÍNDICE IRE ⁴		VIDA ÚTIL MÍNIMA (V _{MÍN}) ⁴ (AÑOS)
COMERCIAL	Graneles líquidos	r_3 (r_2) ¹	Alto (Medio) ¹	50 (25) ¹
	Graneles sólidos	r_3 (r_2) ¹	Alto (Medio) ¹	50 (25) ¹
	Mercancía general	r_2	Medio	25
	Pasajeros	Ferris r_3 (r_2) ² Cruceros r_2	Alto (Medio) ² Medio	50 (25) ² 25
PESQUERO		r_1	Bajo	15
NAÚTICO-DEPORTIVO		r_1	Bajo	15
INDUSTRIAL		r_2 (r_3) ³	Medio (Alto) ³	25 (50) ³
MILITAR		r_3	Alto	50

(1) El índice IRE podrá reducirse a r_2 cuando el granel sólido ó líquido no esté relacionado con el suministro energético o con materias primas minerales estratégicas y no se pueda disponer de sistemas alternativos para su manipulación y almacenamiento.
(2) El índice IRE podrá reducirse a r_2 cuando se pueda disponer de instalaciones alternativas.
(3) El índice IRE se elevará a r_3 cuando la industria a la que sirve la obra de atraque esté asociada con la producción energética o con la transformación de materias primas minerales estratégicas.
(4) Los índices r_1 y r_2 de la tabla se elevarán un grado por cada 25 M€ de inversión inicial de la obra de atraque.

Tabla 1. Índice de Repercusión Económica IRE para Muelle 11 al uso de cruceros.

2.2.2. Índice de Repercusión Social y Ambiental, ISA

A través de este índice estimamos el posible impacto social y ambiental que puede acarrear la pérdida total de la utilidad del muelle.

Al igual que se considera en la estimación del IRE, ambos tramos son diseñados al uso de cruceros por lo que se tiene un valor de ISA s2 referente a obras de repercusión social y ambiental baja, en coherencia con lo establecido en la ROM 2.0-11. Se recomienda considerar de forma habitual para obras de atraque y amarre una repercusión social y ambiental baja, salvo cuando en las mismas se manipulasen mercancías peligrosas, algo que no sucede en el Muelle 11 del Puerto de Alicante.

USO	TIPO DE MERCANCÍA		ÍNDICE ISA ²		P _{ELU} ^{2, 3}	P _{EELS} ^{2, 3}
COMERCIAL	Graneles líquidos	Mercancías peligrosas ¹	s ₃	Alto	0,01	0,15
		Mercancías no peligrosas	s ₂	Bajo	0,10	0,30
	Graneles sólidos	Mercancías peligrosas ¹	s ₃	Alto	0,01	0,15
		Mercancías no peligrosas	s ₂	Bajo	0,10	0,30
	Mercancía general		s ₂	Bajo	0,10	0,30
	Pasajeros		s ₂	Bajo	0,10	0,30
PESQUERO			s ₂	Bajo	0,10	0,30
NAÚTICO-DEPORTIVO			s ₂	Bajo	0,10	0,30
INDUSTRIAL	Mercancías peligrosas ¹		s ₃	Alto	0,01	0,15
	Mercancías no peligrosas		s ₂	Bajo	0,10	0,30
MILITAR			s ₃	Alto	0,01	0,15

(1) Se considerarán mercancías peligrosas los grupos de sustancias prioritarias incluidas en el anexo X de la Directiva Marco del Agua (Decisión 2455/2001/CEE), en el inventario europeo de emisiones contaminantes (EPER: Decisión 2000/479/CE), y en el Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Mercancías Peligrosas (Real Decreto 145/1989).

(2) En el caso de que en la obra de atraque o en las proximidades de la misma esté previsto que se ubiquen edificaciones (p.e. estaciones marítimas, lonjas...) depósitos o silos que pudieran resultar afectados en el caso de fallo de la obra de atraque, se considerará un índice ISA (s₃) muy alto (p_{F, ELU} = 0,0001, p_{F, ELS} = 0,07).

(3) En general, los estudios de optimización económica de las obras de atraque conducen a la conveniencia de proyectar obras mucho más seguras que los umbrales mínimos recomendados en esta tabla, salvo cuando la acción predominante sea el oleaje, el viento o el sismo.

Tabla 2. Índice de Repercusión Social y Ambiental ISA para Muelle 11 al uso de cruceros.

2.3. Carácter operativo

El carácter operativo permite estimar las repercusiones económicas, ambientales y sociales ocasionadas por la pérdida de operatividad del muelle. Para determinarlo nos apoyamos en los índices de repercusión económica operativa (IREO) y de repercusión social y ambiental operativo (ISAO).

2.3.1. Índice de Repercusión Económica Operativo, IREO

Se trata del Índice de Repercusión Económico Operativo, IREO, y operatividades mínimas durante la vida útil recomendados para la obra de atraque y amarre en función de su uso, en este caso, al uso de cruceros. Se define como los costes producidos por parada operativa de una obra marítima.

El muelle al completo tiene un objetivo de uso cruceros por lo que el valor de IREO es RO,3, correspondiente a obras con repercusión económica operativa alto.

USO	TIPO DE MERCANCÍA		ÍNDICE IREO		$r_{E,ELO} = 1 - p_{E,ELO}$
COMERCIAL	Graneles líquidos		r_{o1}	Bajo	0,85
	Graneles sólidos		r_{o1}	Bajo	0,85
	Mercancía general	Tráficos regulares	$r_{o3}^{1, 2}$	Alto	0,99
		Tráficos tramp	$r_{o2}^{1, 2}$	Medio	0,95
	Pasajeros		$r_{o3}^{1, 2}$	Alto	0,99
PESQUERO			r_{o3}	Alto	0,99
NAÚTICO-DEPORTIVO			r_{o3}	Alto	0,99
INDUSTRIAL			r_{o1}	Bajo	0,85
MILITAR			r_{o3}	Alto	0,99

(1) En el caso de que los tráfico sean sólo en periodo estival, los índices obtenidos se reducirán un grado.

(2) En el caso de que la intensidad de la demanda sea poco intensiva (grado de ocupación del atraque $\phi < 40\%$. Ver apartado 3.2.1.4) los índices obtenidos se reducirán un grado.

Tabla 3. Índice de Repercusión Económica Operativa IREO para Muelle 11 al uso de cruceros.

2.3.2. Índice de Repercusión Social y Ambiental Operativo, ISAO

A través de este índice se estima de la mejor manera la repercusión tanto social como ambiental al producirse una parada operativa del muelle, atendiendo a la afección a vidas humanas, patrimonio histórico y daños generados en el medio ambiente.

El valor del ISAO para el Muelle 11 analizado como conjunto de ambos tramos destinados al uso de cruceros es calificado como SO,1, que nos indica la no existencia de repercusión social y ambiental de relevancia. Además, obtenemos el número anual máximo de paradas operativas siendo este 10.

USO	TIPO DE MERCANCÍA	ÍNDICE ISAO		N _m
COMERCIAL	Graneles líquidos	S ₀₁	No significativo	10
	Graneles sólidos	S ₀₁	No significativo	10
	Mercancía general	S ₀₁	No significativo	10
	Pasajeros	S ₀₁	No significativo	10
PESQUERO		S ₀₂	Bajo	5
NAÚTICO-DEPORTIVO		S ₀₂	Bajo	5
INDUSTRIAL		S ₀₁	No significativo	10
MILITAR		S ₀₁	No significativo	10

Tabla 4. Índice de Repercusión Social y Ambiental ISOA para Muelle 11 al uso de cruceros.

2.4. Fases de proyecto y duración

En este apartado se expone la vida útil para la que se realiza la adecuación de la viga cantil en el muelle y se agrupan los distintos estados o situaciones existentes en la obra en fases de proyecto. Las fases de proyecto mínimas a considerar en un proyecto de obra de atraque o amarre son las siguientes:

- Fase de construcción.
- Fase de servicio.
- Fase de reparación.
- Fase de desmantelamiento.

2.4.1. Vida útil

En primer lugar, definimos la vida útil como el tiempo durante el cual la obra cumple la función principal para la que ha sido concebida. Tratándose de una obra de atraque o amarre de uso comercial correspondiente a cruceros la vida útil para ambos tramos no debe ser menor de 25 años como puede observarse en la tabla 3.4.2.1 de la ROM 2.0-11 presente en el apartado 2.2.1. Índice de Repercusión Económica, IRE de este mismo anejo.

2.4.2. Duración de las fases

Es necesario calcular dentro de la fase de servicio los Estados Límite Últimos ELU y los Estados Límite de Servicio ELS tanto de corto plazo como de largo plazo.

2.5. Criterios de seguridad, servicio y explotación

Para cada fase y subfase de estudio, el muelle que se considera como un único tramo debe cumplir una serie de requisitos exigidos por la normativa en materia de seguridad, servicio y explotación en todos los estados límite. Estos criterios vienen definidos por los parámetros fiabilidad, funcionalidad o aptitud al servicio y operatividad.

2.5.1. Fiabilidad frente a ELU

El índice ISA a considerar es S₂ por lo que la máxima probabilidad conjunta de fallo durante la vida útil correspondiente a estados límite últimos, pfELU = 0,10.

2.5.2. Funcionalidad frente a ELS

El índice ISA es S₂, por lo que la máxima probabilidad conjunta de fallo durante la vida útil correspondiente a estados límite de servicio, pfELS = 0,30.

2.5.3. Operatividad frente a ELO

El índice IREO es R₀₃^{1,2} por lo que la máxima probabilidad conjunta de fallo durante la vida útil correspondiente a estados límite operativo es, pfELO = 0,99.

2.5.4. Periodo de retorno

El periodo de retorno, (TR), de la ocurrencia de un modo principal, se aproxima con la siguiente expresión:

$$p_{n,V} = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^V$$

Siendo,

P_{n,v}: probabilidad de fallo

V: Vida útil

Para ambos tramos, la probabilidad de fallo es de 0,1 y la vida útil es de 25 años, con lo que se obtiene un valor del periodo de retorno T_R= 238 años.

3. Definición de estados a considerar

En primer lugar, es necesario definir las campañas en las que se basa el proyecto para su realización. En gran medida las campañas batimétrica, topográfica y geotécnica pertenecen al “Proyecto de Construcción de la prolongación del Muelle 13 del Puerto de Alicante” (2017) y al “Proyecto para mejora de calados del Muelle 11 del Puerto de Alicante”, (1986), ambas tomadas en cuenta en el “Proyecto de construcción de la adecuación de la viga cantil del Muelle 11, Puerto de Alicante” (2018). Estos proyectos ejercen de punto de partida ya que sirvieron para realizar los ensayos y prospecciones necesarios en el emplazamiento que se encuentra el Muelle 11 del Puerto de Alicante.

3.1. Parámetros de proyecto

3.1.1. Introducción

Este apartado recoge los parámetros de proyecto que se deben considerar en la ejecución de una obra de este ámbito, referido a los siguientes condicionantes:

- Geometría de la estructura
- Parámetros de los materiales de construcción
- Niveles del agua
- Características del terreno

3.1.2. Parámetros geométricos. Niveles de referencia

El nivel escogido como referencia durante este estudio se establece en el Cero del Puerto de Alicante. El Muelle 11 se encuentra con una cota de coronación entre 1,90 y 2,00 metros sobre dicho nivel. La cota de coronación para los 358 metros de longitud del muelle a la que se pretende ejecutar la viga cantil objeto del estudio es 2,60 metros respecto al Cero del Puerto, para que sirva de esta manera como continuación de la explanada existente en el Muelle 13.

Debido al aumento de cota de coronación previsto, ofrece un valor adecuado teniendo en cuenta los valores estimados en la ROM 2.0-11 de niveles de aguas extremas para la zona en la que se encuentra y el periodo de retorno igual a 238 años calculado con anterioridad.

PUERTO	NIVEL DE LAS AGUAS	Valores Extremales			Valores medios		Altura del Nivel Medio del Mar respecto del Cero del Puerto (m) ²⁾
		T= 500 años	T=50 años	T=5 años	Probabilidad de no excedencia del 85 %	Probabilidad de no excedencia del 50 %	
VALENCIA	Nivel alto	+ 0.96	+ 0.85	+ 0.74	+ 0.16	+ 0.13	+0,07
	Nivel bajo	- 0.78	- 0.74	- 0.70	- 0.16	- 0.13	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	0.41 (UA = 0.18)					

Tabla 5. Niveles de agua extremas zona Valencia

3.1.3. Parámetros del terreno

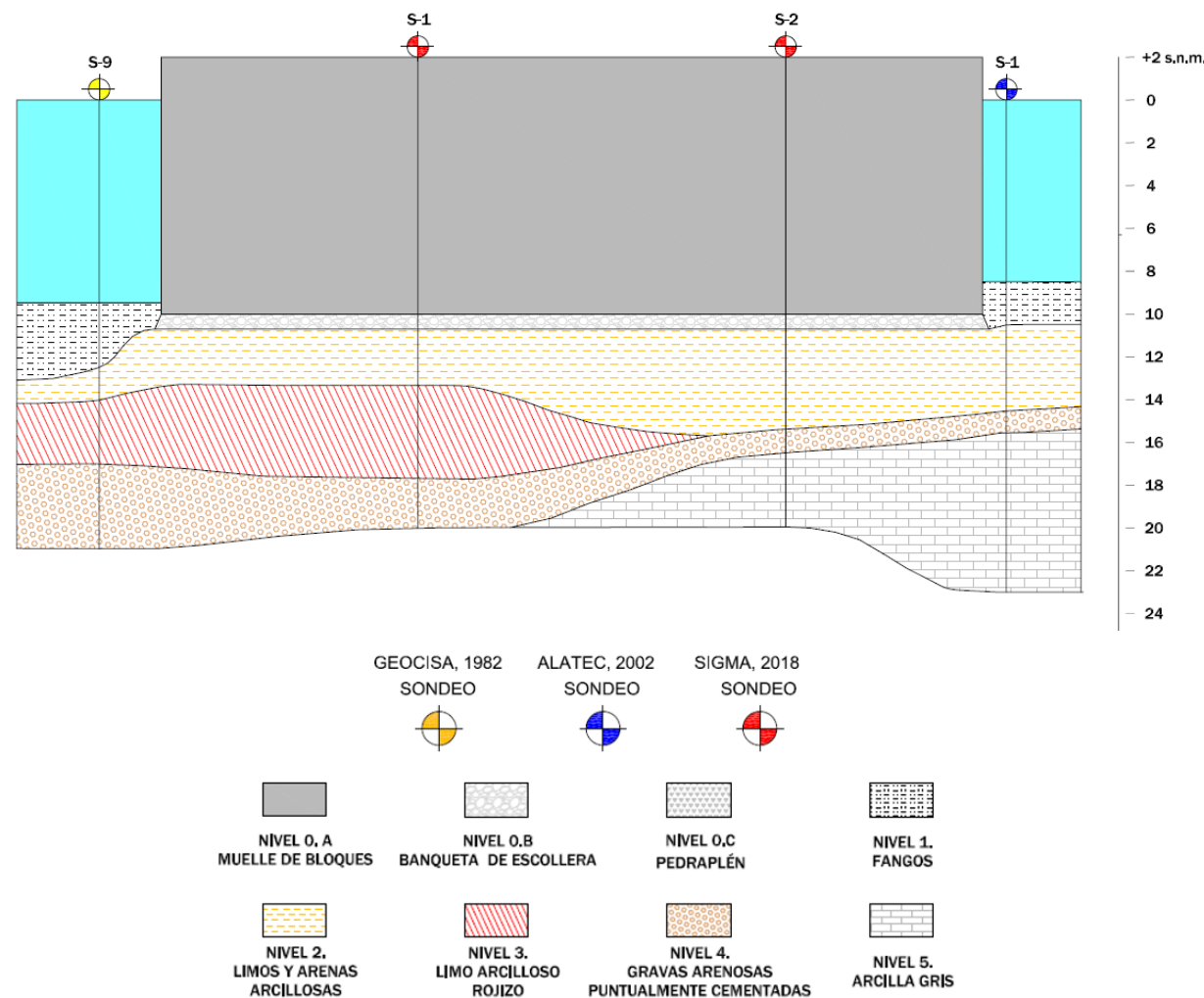
Los datos geotécnicos expuestos en este apartado se han extraído del “Proyecto de construcción de la adecuación de la viga cantil del Muelle 11, Puerto de Alicante”.

La columna estratigráfica tipo y los valores de los parámetros de resistencia y deformación del terreno son el resultado de las determinaciones deducidas a partir de los sondeos que se realizaron en la campaña de campo de dicho proyecto y de las interpretaciones de este realizadas a partir del conocimiento del terreno que otorgan experiencias anteriores.

Niveles		γ_d (KN/m ³)	γ_a (KN/m ³)	K (m/s)	C. no drenadas (Corto Plazo)	C. drenadas (Largo Plazo)			
					c_u (KN/m ²)	c' (KN/m ²)	ϕ'	E' (MPa)	v'
1	Fangos	13	16	10 ⁻⁶	10	0	22°	5	0,3
2	Limos y arenas arcillosas	17	21	10 ⁻⁶	65	5	29°	10	0,3
3	Limo arcilloso rojizo	18	21	10 ⁻⁷	16	15	26°	20	0,3
4	Gravas arenosas	16	19	0,01	0	0	36°	50	0,3
5	Arcilla gris	17	20	10 ⁻⁹	250	25	27°	35	0,3

Tabla 6. Valores de parámetros de resistencia y deformación del terreno

En la siguiente figura se representa el perfil estratigráfico referente a este muelle, teniendo en cuenta tanto los sondeos realizados previos al “Proyecto de adecuación de la viga cantil del Muelle 11, Puerto de Alicante”, como los sondeos complementarios realizados en este.



3.1.4. Parámetros del medio físico

Se adoptan los siguientes valores de las propiedades del agua correspondiente a valores medios:

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

3.2. 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 Nº 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.

Las actuaciones llevadas a cabo para su realización son las siguientes:

- Toma de datos batimétricos mediante ecosonda Multihaz.
- Toma de datos topográficos media estación topográfica GPS.
- Correcciones de calado, marea y velocidad de sonido.
- Interpretación de los registros topo-batimétricos.
- Elaboración de cartografía e informe.

Las unidades utilizadas para expresar los datos son las siguientes:

- Unidades lineales: Metros
- Unidades angulares: Grados sexagesimales
- Sentido de los ángulos: 0° E y 180° W
- Horas: UTC

3.2.1. Altimetría

El Cero del Puerto de Alicante es tomado como nivel de referencia altimétrico para todas las cotas y profundidades de la campaña.

3.2.2. Planimetría

Como enlace planimétrico se ha tomado el sistema de referencia terrestre europeo ETRS 89 (European Terrestrial Reference System 1989), y la proyección U.T.M huso 30 del elipsoide internacional EPSG 25830.

3.2.3. Batimetría

En la siguiente imagen puede observarse el plano batimétrico de la zona estudiada:

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



Figura 3. Plano batimétrico del Puerto de Alicante

A continuación, se observa la batimetría de las zonas cercanas al muelle 11 con mayor precisión ya que se trata del área de importancia para la adecuación de la viga cantil de dicho muelle.

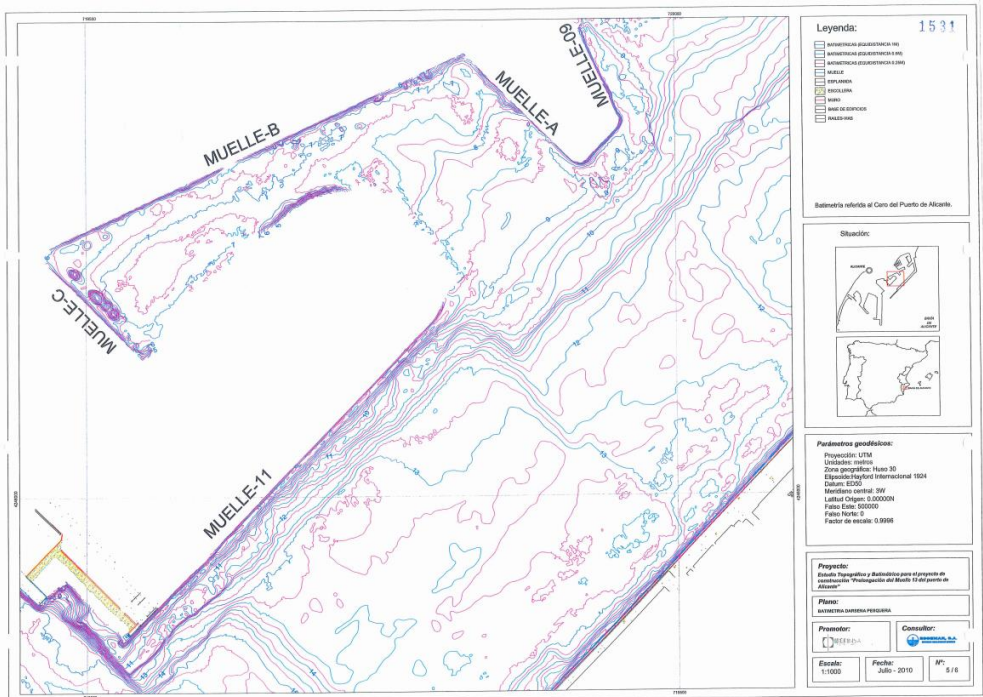


Figura 4. Plano batimétrico del Muelle 11 del Puerto de Alicante

Los trabajos necesarios para la realización de la campaña batimétrica y de esta forma, la caracterización del fondo cercano al Muelle 11 del Puerto de Alicante, fueron realizados en el mes de abril de 2018.

Además, se toma en cuenta la información topográfica entregada por parte de la Autoridad Portuaria de Alicante con fecha febrero de 2018 y que sirve para completar la campaña batimétrica.

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 7. Calados del estudio de los perfiles longitudinales del Muelle 11.

ANÁLISIS DE PERFILES LONGITUDINALES				
CALADO (5 m cantil)				
Tramo	PK	Mínimo	PK	Máximo
Granel	200.0	-9.0	80.00	-10.8
M. General	345.0	-8.1	212.00	-9.5
CALADO (10 m cantil)				
Tramo	PK	Mínimo	PK	Máximo
Granel	193.0	-10.1	150.00	-11.4
M. General	354.0	-9.4	311.00	-11.3

Tabla 8. Calados máximo y mínimo por tramo existent

Tras la realización de la campaña batimétrica se hallan las siguientes conclusiones:

- La presencia de bajos se produce no solo en la posición de los bolardos 6 a 8, sino que es intermitente en todo el frente de atraque y en el tramo 2.
- Las operaciones de dragado se realizaron manteniendo un resguardo de entre 5 y 7 m desde el cantil del muelle.
- El calado a 5 m desde el cantil de muelle se encuentra entre las cotas -8,1 m y -9,5 m en el tramo 1 y entre -9,0 m y -10,8 m en el tramo 2.
- A distancias medidas desde cantil de 10 m los calados aumentan a valores de -9,4 m y -11,3 m en el tramo 1 y de entre -10,1 m a -11,4 m en el tramo 2.

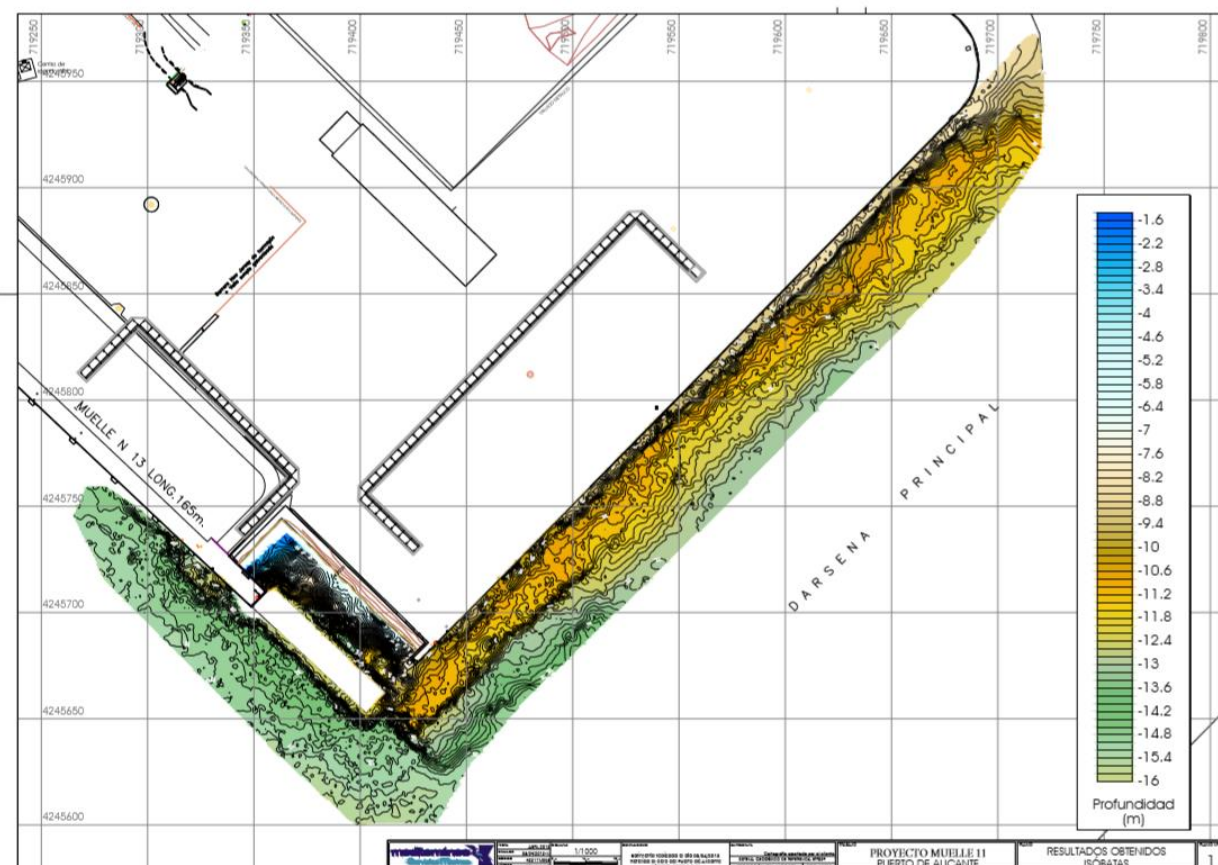


Figura 5. Plano topo-batimétrico de los Muelles 11 y 13 del Puerto de Alicante

3.3. Estudio geológico y geotécnico

3.3.1. Introducción

El objetivo del estudio geológico y geotécnico es el análisis de los trabajos realizados en el emplazamiento del Muelle 11 y zonas necesarias para la adecuación de la viga cantil para caracterizar el tipo del terreno existente.

Para ello, se ha realizado una campaña de reconocimiento geotécnico basada en los datos de trabajos anteriores y de los requerimientos de la ROM 0.5-05. Las campañas de campo y ensayos de laboratorio fueron realizadas en marzo de 2018.

A través de esta campaña se prevé definir el terreno en la zona de proyecto y ejecutar los ensayos necesarios, tanto in situ como en laboratorio.

3.3.2. Información previa

La información utilizada en este estudio de alternativas está basada en el “Proyecto de construcción de la adecuación de la viga cantil del Muelle 11, Puerto de Alicante”.

Los siguientes informes fueron facilitados por la Autoridad Portuaria de Alicante y en ellos se basa el estudio geológico y geotécnico de la zona:

- Informe geotécnico del “Proyecto de Construcción de la prolongación del Muelle 13 del Puerto de Alicante”, julio 2017.
- Campaña de prospección geotécnica para la ampliación de los Muelles 7 y 11 del Puerto de Alicante, del año 2002.
- Anejo Geotécnico del “Proyecto y Obra para la Construcción del Muelle nº 15 situado en la Dársena Central de la Unidad Portuaria de Poniente de Alicante”, año 1993.
- Informe sobre el reconocimiento y estudio geotécnico para la mejora de calados del Muelle 11 en el Puerto de Alicante. INTEMAC, octubre de 1986.

En particular, el Informe geotécnico del “Proyecto de Construcción de la prolongación del Muelle 13 del Puerto de Alicante”, adopta como base de partida la información de las prospecciones realizadas en los años 1982, 1993 y 2002.

Los sondeos S9, S1B y ensayos de penetración dinámica P-3, P-4, P-7 y P-11, realizados que son de interés para este estudio de alternativas son los siguientes, marcados en la figura 14.

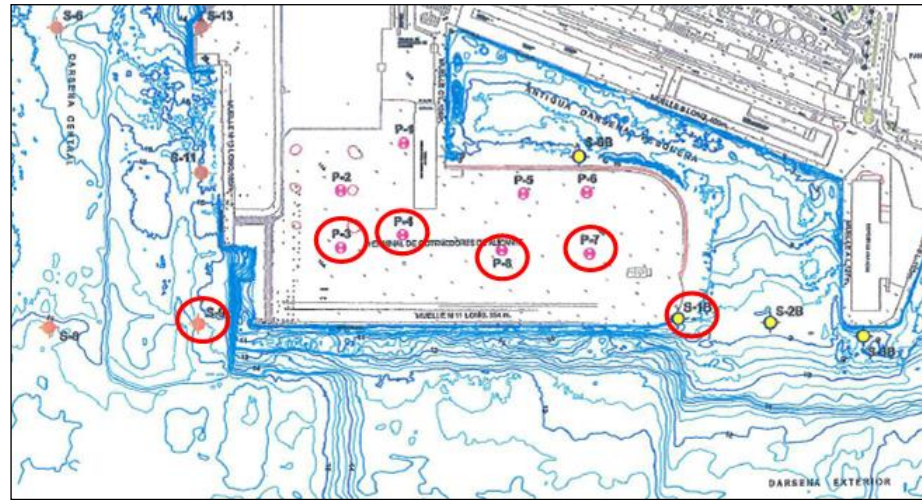


Figura 6. Puntos de reconocimiento (Años 1982, 1993 y 2002)

3.3.3. Campaña geotécnica

La campaña realizada por la empresa SIGMA ha consistido en:

- 2 sondeos rotativos de longitud de 22 m. Las prospecciones se han realizado en correspondencia de las siguientes coordenadas UTM-30 (ETRS89):
- 11 ensayos in situ de penetración normalizada SPT
- Extracción de 10 muestras inalteradas (TP), 2 muestras alteradas (MA) y una (1) muestra de agua.

Sobre las muestras extraídas se han realizado los siguientes ensayos de laboratorio:

- 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

A continuación, situamos ambos sondeos en el muelle:



Figura 7. Ubicación de sondeos

En la siguiente figura se observa el resultado de la campaña geotécnica, identificando los distintos tipos de terreno y las capas en diferentes niveles y colores.

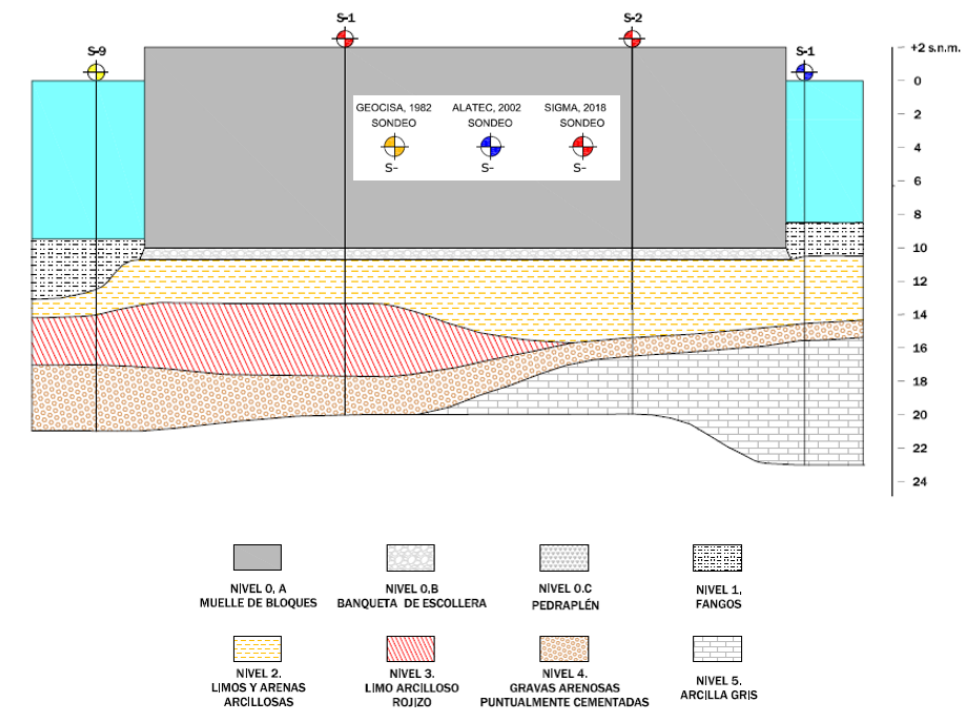


Figura 8. Perfil estratigráfico longitudinal

La columna estratigráfica tipo por unidades geotécnicas es la siguiente:

- 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.

3.4. Agentes y acciones

3.4.1. Agentes climáticos

Según la ROM 2.0-11, los agentes climáticos referidos a la corriente, el viento y el oleaje, son condicionantes de relevancia en los factores de los que depende el dimensionamiento en planta de la obra, que son los siguientes:

- Orientación.
- Alineaciones.
- Número de atraques (Na).
- Longitud total de la línea de atraque (La).
- Posición y dimensiones en planta de tacones y rampas.
- Anchura (Am).
- Accesos terrestres.

Para este diseño, en primer lugar, se adoptan los siguientes umbrales de agentes climáticos y océano-meteorológicos.

Se pueden observar las diferentes limitaciones establecidas por la ROM 2.0-11 en referencia a la velocidad absoluta del viento, la velocidad absoluta de la corriente y la altura de ola máxima permitida, siendo cada uno de estos parámetros dependiente del sentido respecto al muelle y de la acción considerada.

A. MUELLES Y PANTANALES	Velocidad absoluta del viento $V_{10,1 \text{ min}}$	Velocidad absoluta de la corriente $V_{c, 1 \text{ min}}$	Altura de la ola H_s
1. Maniobra de atraque de buques			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	17,0 m/s	1,0 m/s	2,0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	10,0 m/s	0,1 m/s	1,5 m
2. Paralización operaciones carga y descarga (para equipos convencionales)			
Acciones en sentido longitudinal al muelle			
■ Petróleos			
< 30.000 TPM	22 m/s	1,5 m/s	1,5 m
30.000-200.000 TPM	22 m/s	1,5 m/s	2,0 m
> 200.000 TPM	22 m/s	1,5 m/s	2,5 m
■ Graneleros			
Cargando	22 m/s	1,5 m/s	1,5 m
Descargando	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
■ Transportadores de Gases Licuados			
< 60.000 m ³	22 m/s	1,5 m/s	1,2 m
> 60.000 m ³	22 m/s	1,5 m/s	1,5 m
■ Mercantes de carga general. Pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
■ Portacontenedores, Ro-Ros y Ferris	22 m/s	1,5 m/s	0,5 m
■ Transatlánticos y Cruceros (1)	22 m/s	1,5 m/s	0,5 m
■ Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	1,5 m/s	0,6 m
Acciones en sentido transversal al muelle			
■ Petróleos			
< 30.000 TPM	20 m/s	0,7 m/s	1,0 m
30.000-200.000 TPM	20 m/s	0,7 m/s	1,2 m
> 200.000 TPM	20 m/s	0,7 m/s	1,5 m
■ Graneleros			
Cargando	22 m/s	0,7 m/s	1,0 m
Descargando	22 m/s	0,7 m/s	0,8 m
■ Transportadores de Gases Licuados			
< 60.000 m ³	16 m/s	0,5 m/s	0,8 m
> 60.000 m ³	16 m/s	0,5 m/s	1,0 m
■ Mercantes de carga general. Pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	0,7 m/s	0,8 m
■ Portacontenedores, Ro-Ros y Ferris	22 m/s	0,5 m/s	0,3 m
■ Transatlánticos y Cruceros (1)	22 m/s	0,5 m/s	0,3 m
■ Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	0,7 m/s	0,4 m
3. Permanencia de buques en muelle (5)			
■ Petróleos y transportadores de Gases Licuados			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	30 m/s	2,0 m/s	3,0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	25 m/s	1,0 m/s	2,0 m
■ Transatlánticos y Cruceros (2)			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	22 m/s	0,7 m/s	0,7 m
■ Embarcaciones deportivas (2)	22 m/s	1,5 m/s	0,4 m
■ Acciones en sentido longitudinal al muelle	22 m/s	1,5 m/s	0,4 m
■ Acciones en sentido transversal al muelle	22 m/s	0,7 m/s	0,2 m
■ Otro tipo de buques	Limitaciones impuestas por las cargas de diseño de los muelles, compatibles con configuraciones de amarre que garanticen la seguridad del buque		

Tabla 9. Valores umbrales de los agentes climáticos y océano-meteorológicos de carácter operativo

Los agentes climáticos que son tomados en cuenta, como se ha dicho anteriormente, son los siguientes:

- Oleaje exterior
- Viento
- Nivel de marea

3.4.1.1. Oleaje exterior

Las alturas de ola obtenidas a pie de muelle son inferiores a las alturas de ola umbral definidas por la ROM 2.0-11, por lo que puede concluirse que el Muelle 11 se encuentra abrigado del oleaje exterior, y no se considera su acción como agente climático.

3.4.1.2. Viento

En primer lugar, se identifica como el agente predominante en el diseño y cálculo de la adecuación de la viga cantil del Muelle 11 del Puerto de Alicante. Se observa que los puertos pertenecientes a la Comunidad Valenciana tienen un régimen de vientos similar. El viento más frecuente, es decir, el reinante en estos puertos es el de orientación SW, siendo el más intenso o dominante el de orientación NE $\frac{1}{4}$ E.

Según la ROM 0.4-95 y a través de la página oficial de Puertos del Estado se han analizado los vientos locales en el punto SIMAR 613023024, de donde se recogen los datos referentes al Puerto de Alicante. Estos son los datos de este punto de toma de datos:

Dato	Valor
Longitud	0.48° W
Latitud	38.33° N
Inicio de medidas	19-09-2012
Fin de medidas	09-04-2019
Conjunto de datos	Punto SIMAR
Código	613023024
Cadencia	1 h

Tabla 10. Características de punto de toma de datos

En las siguientes figuras se pueden observar tanto la ubicación del punto WANA correspondiente, como la rosa de los vientos resultante, que aporta la velocidad media del viento y la orientación predominante del mismo.

Se aprecia que la mayor velocidad registrada visible en la rosa de los vientos es de alrededor de 9 m/s y que su procedencia es de las direcciones E y ENE.



Figura 18. Ubicación punto WANA 613023024

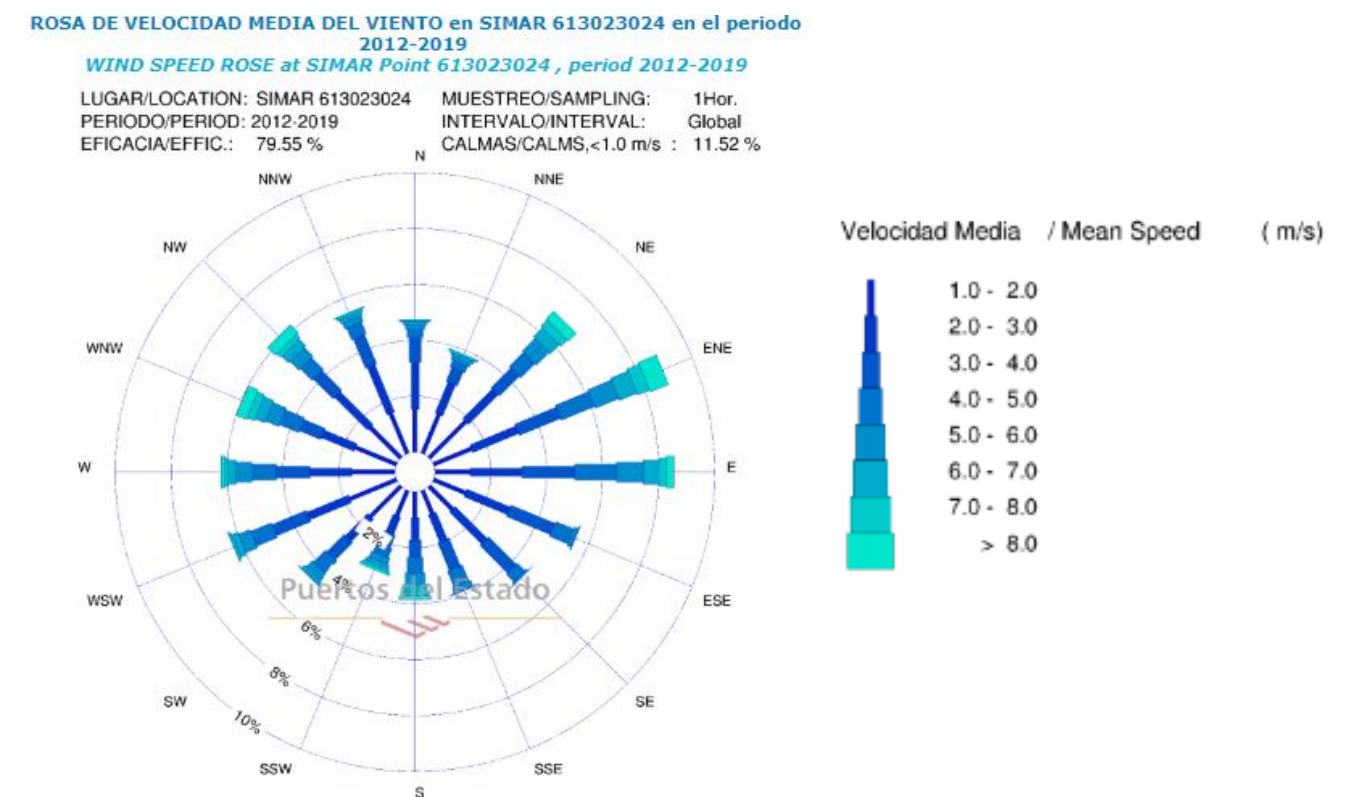


Figura 9. Rosa de los vientos en el Puerto de Alicante



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

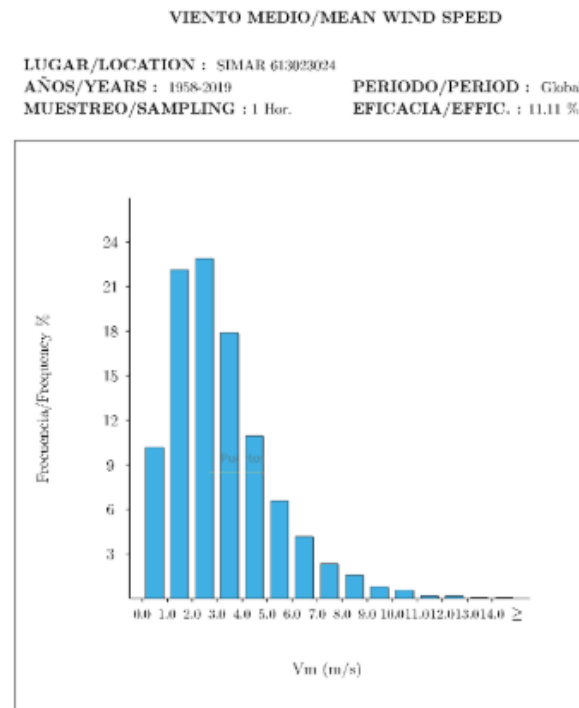


Figura 10. Histograma de velocidades medias entre 1958-2019

El régimen extremal del viento se determinará siguiendo la metodología de la ROM 0.4-95 para el Área VII.

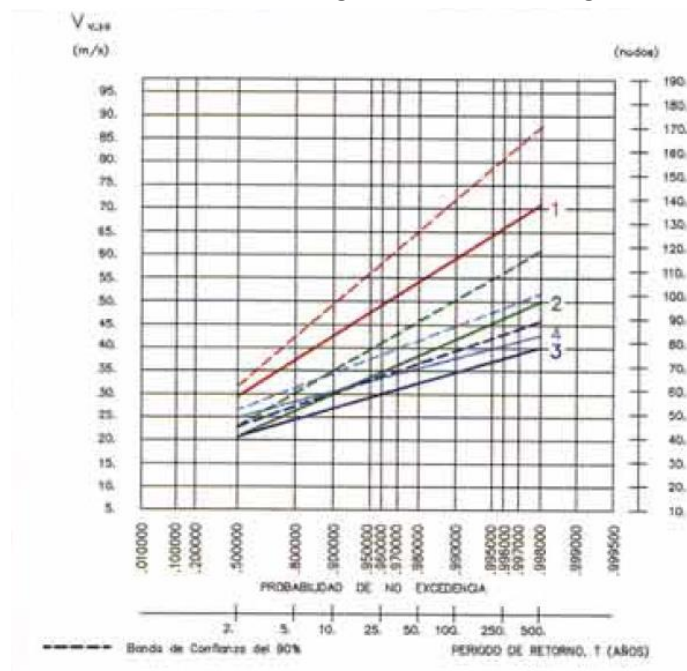


Figura 11. Régimen extremal escalar de viento a partir de medición de estaciones costeras de Alicante 1 y 2.

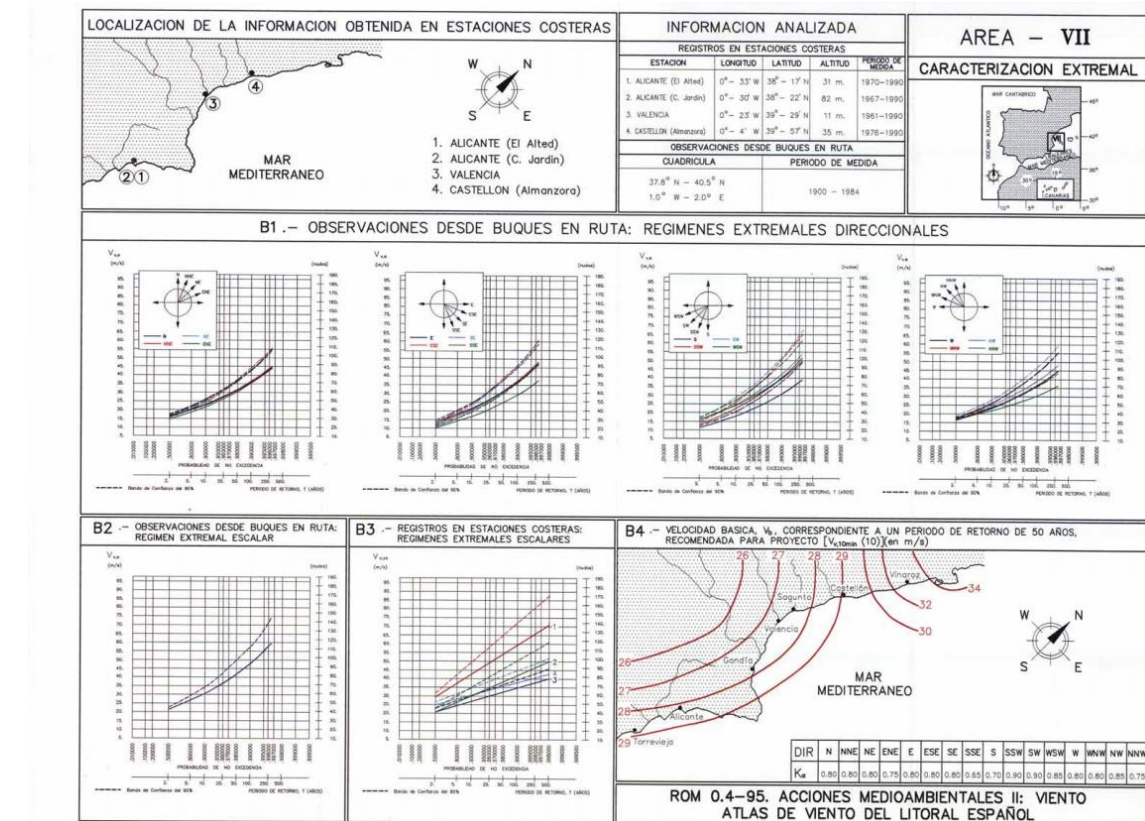


Figura 12. Área VII para acciones climáticas

Según la ROM 0.4-95 “Acciones climáticas II”, para el Area VII, dado que la velocidad básica V_b correspondiente a un periodo de retorno extremal de 50 años recomendada para proyecto es de 28,5 m/s, realizando el producto de esta por el coeficiente correspondiente a la dirección perpendicular al eje longitudinal del muelle, que corresponde a la dirección más restrictiva para proyecto, podemos obtener la velocidad básica del viento a 10 min.

El eje longitudinal del muelle tiene dirección NE por lo que la dirección perpendicular tomando el viento proveniente del interior del muelle hacia la zona de atraque es la dirección NW, con un coeficiente $K_a = 0,85$ por lo que:

Velocidad básica $V_{b,50}$ (m/s)	K_a	$V_{v,10 \text{ min}}$ (m/s)
28,5	0,85	24,23

Tabla 11. Velocidad básica del viento a 10 min

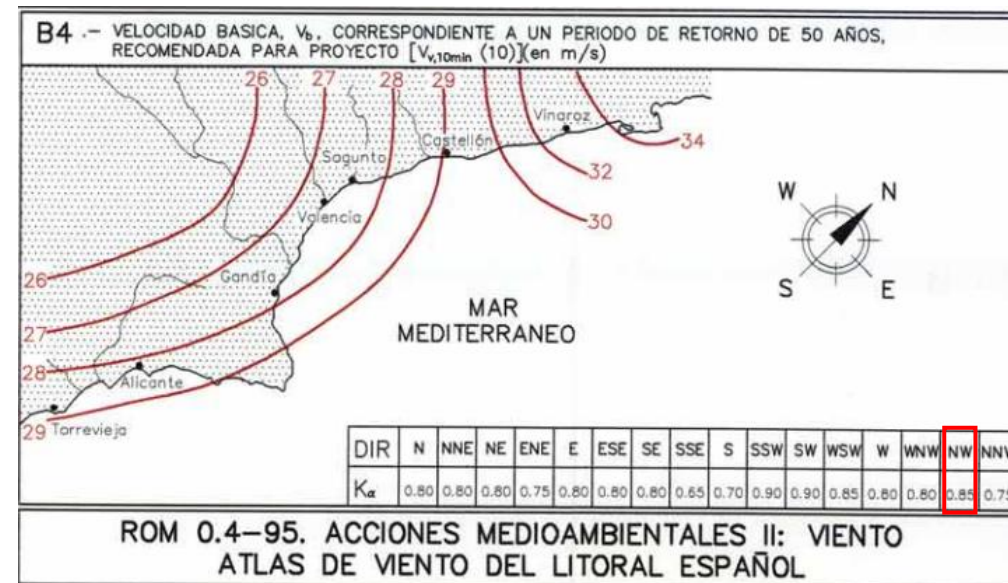


Figura 13. Atlas de viento del litoral español

3.4.1.3. Nivel de marea

Para el análisis del nivel de marea se adoptan los valores recogidos en la siguiente tabla según la ROM 2.0-11 para el Puerto de Valencia.

TABLA 4.6.2.3. VALORES REPRESENTATIVOS ESTIMADOS DE LOS NIVELES DE AGUA EN PUERTOS ESPAÑOLES RESPECTO AL NIVEL MEDIO DEL MAR (combinada marea astronómica+meteorológica) (en m) ¹⁾							
PUERTO	NIVEL DE LAS AGUAS	Valores Extremales			Valores medios		Altura del Nivel Medio del Mar respecto del Cero del Puerto (m) ²⁾
		T= 500 años	T=50 años	T=5 años	Probabilidad de no excedencia del 85 %	Probabilidad de no excedencia del 50 %	
VALENCIA	Nivel alto	+ 0.96	+ 0.85	+ 0.74	+ 0.16	+ 0.13	+0,07
	Nivel bajo	- 0.78	- 0.74	- 0.70	- 0.16	- 0.13	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	0.41 (UA = 0.18)					
NOTAS							
UA: Unidad de altura. Es la semiamplitud, en metros, de la media de las mareas astronómicas vivas equinocciales, a la que corresponde un coeficiente de marea C: 100. A la máxima marea astronómica viva equinoccial le corresponde un coeficiente 118.							
1) Valores representativos obtenidos considerando el intervalo de confianza del 90%.							
2) Nivel medio obtenido de datos registrados por la red de mareógrafos de puertos (REDMAR - Puertos del Estado).							
3) Amplitud, en metros, de la máxima marea viva equinoccial.							

Tabla 12. Valores representativos estimados en los niveles de agua en Puertos Españoles.

3.4.2. Agente Sismo

Al tratarse de una obra de normal importancia situada en una zona con aceleración sísmica básica superior a 0,04*g, es necesario el cumplimiento de la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE- 02).

3.4.3. Agentes de uso y explotación

3.4.3.1. Sobrecarga, operación y almacenamiento

Estas son las acciones de uso y explotación que son necesario considerar definidas por las actuales recomendaciones de diseño en la ROM 2.0-11 al uso de cruceros.

- Manipulación de mercancías en áreas de operación.
- Manipulación de mercancías en áreas de almacenamiento.
- Embarque y desembarque de pasajeros.
- Manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo.
- Formulación de las acciones debidas a los agentes de manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros

Se definen las características del área de almacenamiento y del área de operación del muelle al uso de cruceros según la ROM 2.0-11, en la siguiente tabla:

EN LA FASE DE SERVICIO							
USOS			SISTEMAS DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS	Área operación ¹⁾		Área almacenamiento ¹⁾	
				$q_{v,1rk}$ (kN/m ²)	H_a ³⁾ (m)	$q_{v,1rk}$ (kN/m ²)	H_a ³⁾ (m)
COMERCIAL	Graneles sólidos	Ordinarios o pulverulentos	Sistemas continuos	10	1,5	100	8,0
			Sistemas discontinuos	30	2,5		
		Pesados	Sistemas continuos	10	1,5	200	12,0
			Sistemas discontinuos	50	2,5		
	Mercancía general	Carga convencional	Ordinaria	Sistemas discontinuos	30	2,5	60
				por elevación	60	1,5	100
		Pesada	Sistemas discontinuos por elevación	30	2,5 ⁶⁾	60	10 ⁷⁾
				20	2,5	60	10
		Contenedores	Medios rodantes	30	2,5	50	4,0
				Medios rodantes + elevación	30	2,5	100
	Pasajeros	Ro-Ro y Ferris	Medios rodantes + elevación	30	2,5	100	8,0
				Medios rodantes	10	1,5	50
		Multipropósito	Medios rodantes + elevación	30	2,5	100	8,0
				Medios rodantes	20	2,5	50
		Ferris	Medios rodantes + elevación	10	1,5	20	2,5
				Medios rodantes	20	2,5	50

Tabla 13. Valores nominales mínimos de las sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento

Ambos tramos tienen un 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 $q_{v,1rk}= 20 \text{ kN/m}^2$.

3.4.3.1.1. Embarque y desembarque de pasajeros. Pasarela

Si tomamos el viento como agente predominante en este caso para definir un estado límite, para definir las cargas se adopta el menor valor de la velocidad del viento que limita las operaciones. Este valor sería 22 m/s.

En el caso de necesidad de estudios más precisos entre el movimiento del buque atracado y el agente actuante, se toman como valores límite de operatividad, pudiendo ser cada uno de ellos limitante $V_{v,3s} = 24$ m/s, V_c 10 min = 1,5 m/s y $H_s = 0,5/0,3$ m/s en función de que el oleaje actúe en sentido longitudinal o transversal a la línea de atraque.

Para analizar las cargas transmitidas por las pasarelas móviles hacemos uso de la tabla 4.6.4.26 según la ROM 0.2-11 que nos aporta una configuración y valores característicos de las cargas transmitidas para el embarque y desembarque de pasajeros. A efectos de cálculo, se considera en cualquier caso inferior a la sobrecarga de operación establecida de 10 kN/m².

TIPO DE PASARELA MÓVIL 1)				
TAMAÑO		PEQUEÑO 2)		GRANDE 3)
Peso (kN)		300		600
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Distancia entre carriles (G) (m)	7,5-10,0		> 10,0
	Separación entre patas (W) (m)	4,0-7,0		5,8-8,0
	Nº de ruedas por pata (n)	1 4)		2 4)
	Separación entre ruedas (S) (m)	—		1,5
MÁXIMA CARGA POR RUEDA EN EJE MÁS CARGADO (kN) 5)	En condiciones de Operación 6)	Vertical	125	125
		Horizontal 8)	18	18
	En condiciones Extremas 7)	Vertical	130	155
		Horizontal 8)	40	40

Tabla 14. Configuración y valores característicos de cargas transmitidas por pasarelas móviles.

3.4.3.1.2. Elementos de amarre y atraque

- Defensas

Las defensas actuales del Muelle 11 del Puerto de Alicante son 18 de tipo cilíndrico. Dado que el uso de este va a ser modificado es necesaria la adecuación de las defensas al buque tipo que este destinado a atracar.

Además, el tipo de defensas a disponer es de gran importancia, siendo compatible tanto con la geometría y características del buque tipo como con el tipo de viga cantil diseñada. Se debe tener en cuenta la altura de las defensas para garantizar el contacto entre ellas y el buque tipo tanto en pleamar como en bajamar.

- Bolardos

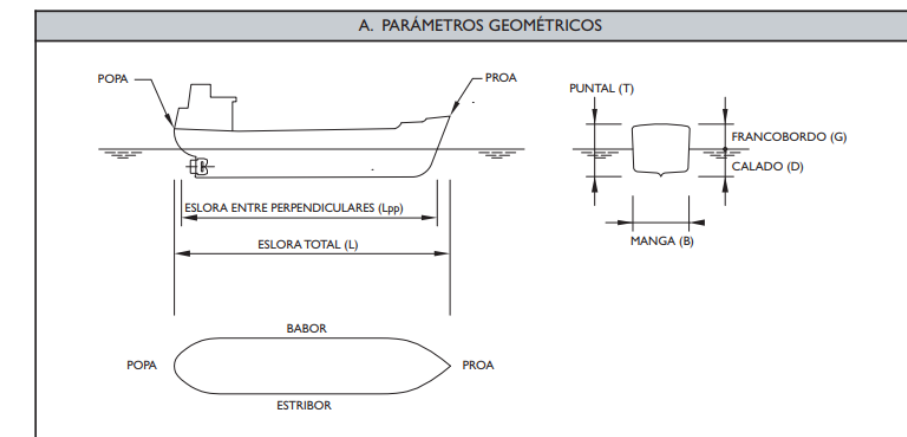
Existen 19 bolardos de 50 toneladas de capacidad con una distancia de 20 metros entre cada uno en la actualidad.

3.4.3.1.3. Buque tipo

Los parámetros representativos que permiten caracterizar al buque según la ROM 2.0-11 son los siguientes:

- Tipología del buque en relación con el tipo y forma de presentación de la mercancía o pasajero transportados.
- Parámetros geométricos.
- Parámetros relacionados con la capacidad y/o la situación de carga.
- Características de maniobrabilidad y de operatividad náutica durante las operaciones de atraque y desatraque. Velocidad máxima de servicio en el área de navegación considerada.

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 4.6.4.3.



$$\Delta_{PC} = \gamma_{TPM} \cdot TPM = \gamma_{GT} \cdot GT = \gamma_{TRB} \cdot TRB$$

Los coeficientes γ pueden obtenerse de la tabla siguiente:

	γ_{TPM}	γ_{GT}	γ_{TRB}
PETROLEROS PARA CRUDO	1,10-1,50	2,10-2,40	1,80
TRANSPORTADORES PRODUCTOS PETROLÍFEROS Y QUÍMICOS	1,30-1,60	2,40-2,80	1,80
METANEROS (LNG)	1,40-1,60	1,10-1,20	0,85
TRANSPORTADORES DE GASES LICUADOS (LPG)	1,60-1,80	1,60-2,50	0,85
GRANELEROS Y POLIVALENTES	1,00-1,40	2,10-2,40	2,00
MERCANTES DE CARGA GENERAL	1,40-1,70	2,50-3,00	1,40-2,00
PORTACONTENEDORES (mayores que tipo PANAMAX)	1,20-1,40	1,40-1,60	1,20
PORTACONTENEDORES (hasta tipo PANAMAX)	1,40-1,60	1,60-1,80	1,20
TRANSPORTADORES DE COCHES	1,60-1,90	0,60-0,70	0,80
RO-RO	1,60-2,40	0,90-1,40	0,80
FERRIES CONVENCIONALES	1,00-1,20	1,50-1,80	0,80-1,00
BUQUES DE PASAJEROS	—	0,70-1,20	0,80-1,00
CRUCEROS	4,5-5,5	0,45-0,60	0,60-1,20
PESQUEROS DE BAJURA	—	1,10-1,40	2,00-2,50
PESQUEROS DE ALTURA	—	0,95-1,10	1,20-2,00

Tabla 15. Parámetros representativos geométricos

- Parámetros geométricos

- Resguardos alineación en planta

Para realizar la elección del buque tipo que se va a tener en cuenta para los cálculos necesarios se deben tener en cuenta distintos condicionantes.

Si consideramos el atraque de un solo buque, por criterios de resguardos en planta el buque de mayor eslora posible sería el clase 2.500 pero quedará descartado por criterios de calado al superar el mínimo existente en el muelle tras las batimetrías realizadas. Por lo tanto, el calado limitará el buque tipo lo que aportará las opciones de 1 o más atraques en línea, según la eslora resultante.

A continuación, se comprueba para el atraque simultáneo de dos buques respecto a los resguardos marcados por la ROM 2.0-11. Siguiendo las exigencias de la tabla 3.2.1.5 y la longitud del muelle igual a 358 metros, se podría diseñar para un buque máximo clase 250 e inferiores, el cual tiene una eslora de 151 metros.

ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL MUELLE	Valores de las variables en función de la eslora total (L en m.) del barco mayor que afecta a la determinación de la dimensión analizada				
	Mayor de 300	300-201	200-151	150-100	Menor de 100 ⁽¹⁾
1. Distancia " l_o " entre barcos atracados en la misma alineación (m.)	30	25	20	15	10
2. Separación " l_s " entre barco y cambios de alineación o de tipología estructural (m.)	30	25	20	10	5

Tabla 16. Resguardos alineación en planta

- Calado

Respecto al calado necesario para la elección del buque, teniendo en cuenta los resguardos necesarios bajo quilla y en general, los factores relaciones con el nivel de agua, con acciones con el buque y con el fondo presentes en la figura 3.2.9 y la tabla 3.2.2.2 de la ROM 2.0-11, se descarta el clase 250 debido a que el calado mínimo observado en las batimetrías realizadas es de 8 metros, y el calado mínimo para poder realizar el diseño con este buque tipo es de 8,31 metros.

De forma evidente, quedan descartados los buques superiores ya que presentan un calado superior.

	BUQUE DE CALADO MÁXIMO EN LA PEOR SITUACIÓN DE CARGA DE LA FLOTA ESPERABLE EN EL ATRAQUE	h_1 2)	h_3
OBRAS DE ATRAQUE SITUADAS EN ÁREAS ABRIGADAS	Buques de gran desplazamiento (≥ 10.000 t)	$1,08 D_e$	1,00 m
	Buques de desplazamiento pequeño y mediano (< 10.000 t)	$1,05 D_e$	0,75 m
OBRAS DE ATRAQUE SITUADAS EN ÁREAS POCO ABRIGADAS	Buques de gran desplazamiento (≥ 10.000 t)	$1,12 D_e$	1,00 m
	Buques de desplazamiento pequeño y mediano (< 10.000 t)	$1,10 D_e$	0,75 m

Notas

(1) Esta formulación tiene validez siempre y cuando los valores de compatibilidad de las variables climáticas en el emplazamiento compatibles con el nivel de referencia adoptado para las aguas exteriores (*ventana de marea operativa o, en su caso, extraordinaria*) no den lugar a condiciones límite de permanencia del buque en el atraque clasificadas como Tipo III de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.49 de esta Recomendación.

(2) En cualquier caso el resguardo bruto mínimo ($h_1 - D_e$) debe ser de 0,50 m para obras de atraque de uso comercial, industrial y militar y de 0,30 m para obras de atraque de uso pesquero y deportivo. No obstante lo anterior, cuando se prevean socavaciones importantes causadas por la acción de las hélices, del oleaje u otras causas, el resguardo bruto mínimo habrá de aumentar hasta 1,00 m. Si se colocan elementos de protección contra dichos efectos, éstos se situarán como mínimo a 0,75 m por debajo del nivel nominal del fondo.

Tabla 17. Estimación del calado de la zona de atraque

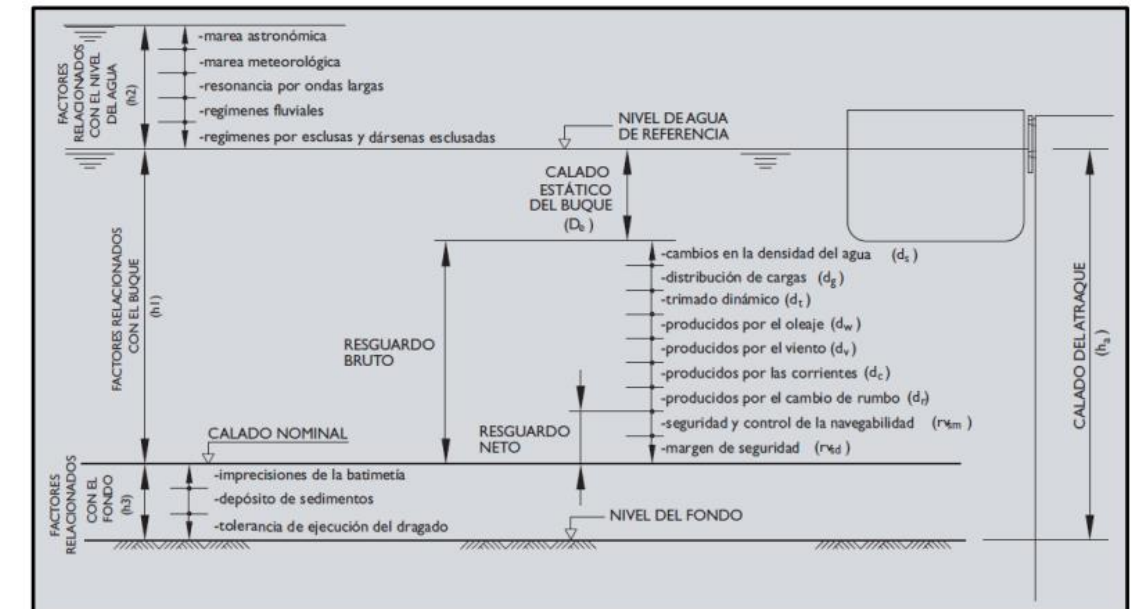


Figura 14. Factores que inciden en la definición del calado en la zona de atraque

De esta manera, el buque tipo que va a limitar el diseño y dimensionamiento de la viga cantil es el clase 175, que exige un calado mínimo necesario de 7,37 metros, en cualquier caso inferior al calado mínimo existente de 8,00 metros. Por lo que se podrá diseñar para el atraque de dos buques simultáneos debido a que los resguardos en planta así lo permiten.

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

TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)
CRUCEROS (Cruise Ships)	6.300 ²⁷⁾	225.000	110.000	362	326	47,0	24,8
	4.500	155.000	77.000	350	315	39,0	23,8
	4.000	145.000	72.000	340	306	38,9	23,5
	3.000	140.000	70.000	325	293	38,6	22,7
	2.500	120.000	65.700	294	265	35,5	22,5
	2.000	95.000	47.500	272	245	35,0	22,0
	1.500	70.000	39.700	263	237	32,2	21,3
	1.000	50.000	29.200	235	200	32,2	20,9
	800	35.000	21.000	192	175	29,8	19,7
	500	30.000	18.000	173	159	27,7	17,6
	250	20.000	12.000	151	139	25,1	15,1
	200	15.000	9.000	133	124	22,9	13,2
	175	10.000	6.000	119	111	21,1	11,6
	150	6.000	3.600	99	94	18,6	9,6
	—	4.000	2.400	86	82	16,7	8,2
	—	2.000	1.200	68	65	14,1	6,3

D_{elmax} (m)	$A_{T,emermax}$ (m ²)	$A_{T,emermin}$ (m ²)	$A_{L,emermax}$ (m ²)	$A_{L,emermin}$ (m ²)	$A_{T,sumermax}$ (m ²)	$A_{T,sumermin}$ (m ²)	$A_{L,sumermax}$ (m ²)	$A_{L,sumermin}$ (m ²)
9,3	2.590	2.543	16.656	16.330	398	351	2.757	2.431
8,8	2.100	2.042	15.730	15.258	312	254	2.520	2.048
8,7	2.000	1.936	14.624	14.124	308	244	2.421	1.920
8,6	1.870	1.815	13.188	12.775	302	243	2.291	1.878
8,4	1.476	1.460	10.275	10.155	271	235	2.024	1.904
8,4	1.290	1.260	9.020	8.780	268	221	1.871	1.547
8,4	1.120	1.090	7.170	7.020	246	194	1.810	1.423
8,4	907	879	5.070	4.990	246	190	1.528	1.179
8,4	766	740	3.850	3.810	228	172	1.337	1.008
8,4	679	654	3.160	3.150	212	162	1.215	930
8,2	573	551	2.400	2.400	188	124	1.037	684
7,2	493	473	1.890	1.880	150	113	812	609
6,3	428	410	1.510	1.500	121	84	636	441
5,1	346	330	1.080	1.060	87	60	436	300
4,4	292	278	822	804	67	46	328	223
3,3	218	207	518	502	43	27	195	132

Tabla 18. Parámetros representativos de los buques en función de su tipología y capacidad de carga

Este buque tipo tiene como características principales:

- Calado máximo (D_{max})= 6,3 metros
- Eslora total (L)= 119 metros
- Parámetro de referencia de capacidad de carga (GT)= 10.000 TPM
- Manga (B)= 21,1 metros
- Puntal (T)= 11.6 metros
- Eslora entre perpendiculares (L_{pp})= 111 metros

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 19. Datos de buque tipo según ROM 2.0-11

Se comprueba que el área de maniobrabilidad necesaria para este buque máximo se cumple en la zona de estudio, considerando una maniobra sin uso de remolcadores, por lo que será necesario un margen mínimo de 2 veces la eslora del buque definido respecto al dique y otras barreras físicas cercanas.

Por lo tanto, la distancia mínima será de $2 * 119 = 238$ metros, y se observa una distancia real de 285 metros por lo que se cumple la limitación de maniobrabilidad.



Figura 15. Área de maniobrabilidad sin remolcadores

3.4.3.1.4. Sistema de atraque

En primer lugar, será necesario calcular la energía cinética con la que el buque de proyecto realiza el atraque calculando previamente los coeficientes necesarios. Definimos el atraque del tipo lateral mediante traslación transversal preponderante. Esta energía se calcula suponiendo que el buque actúa a plena carga.

3.4.3.1.4.1. Coeficientes

3.4.3.1.4.1.1. Coeficiente de masa hidrodinámica C_m

Este coeficiente representa el efecto producido durante el atraque por el buque y la masa de agua que actúa juntamente con el incrementando así la masa que interviene en el cálculo de la energía.

En la ROM 2.0-11 se establece un coeficiente de masa hidrodinámica igual a 1,5 para resguardos brutos bajo quilla mayores que la mitad del calado estático del buque y 1,8 para resguardos brutos bajo quilla menores que 0,1 veces el calado estático del buque.

Teniendo en cuenta que el calado mínimo a tener en cuenta a lo largo del muelle es de 8,00 metros, proporciona un calado bruto bajo quilla igual a 0,95 metros, que representa 0,15 veces el calado estático del buque tipo.

De esta manera, la ROM 2.0-11 indica la interpolación entre ambos valores ya que este caso se encuentra comprendido entre ambas condiciones, por lo que el coeficiente de masa hidrodinámica será el siguiente:

Calado estático del buque tipo $D_e = 6,3$ metros

Calado mínimo de referencia = 8,00 metros

Factores relacionados con el fondo $h_3 = 0,75$ metros

Resguardo bruto bajo quilla $\rightarrow 8 - 6,3 - 0,75 = 0,95$ metros

Proporción respecto a calado estático $\rightarrow 0,95/6,30 = 0,15$

Coeficiente de masa hidrodinámica $\rightarrow C_m = 1,792$

3.4.3.1.4.1.2. Coeficiente de bloque C_b

El coeficiente de bloque depende de la forma del casco del buque de estudio; a plena carga suele variar entre 0,4 y 0,9 para buques marítimos en general.

En concreto, al realizar los cálculos con un buque tipo crucero, la ROM 0.2-11 indica que dicho coeficiente varía de 0,55 a 0,75 por lo que el valor a emplear escogido será el intermedio $C_b = 0,65$.

3.4.3.1.4.1.3. Coeficiente de excentricidad C_e

El coeficiente de excentricidad tiene en cuenta la proporción de energía cinética desarrollada por el buque que no puede transmitirse al sistema de atraque debido a que el punto de impacto no coincide con el centro de gravedad del buque. Por dicha razón, parte de la energía cinética desarrollada por el buque se disipa fundamentalmente por la rotación o guiñada del buque alrededor del punto de impacto.

Este coeficiente viene definido por la siguiente expresión:

$$C_e = \frac{(k^2 + R^2 * \cos^2 \Phi)}{(k^2 + R^2)}$$

Siendo:

K = Radio de giro del buque

R = Distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad en dirección de línea de atraque

Φ = Ángulo entre vector velocidad y la recta entre el centro de gravedad y punto de contacto

$$K = (0,19 * C_b + 0,11) * L = (0,19 * 0,65 + 0,11) * 119 = 27,79$$

$$R = r * \cos \alpha - B/2 * \sin \alpha = \frac{1}{4} * 119 * \cos 15 - 21,1 / 2 * \sin 15 = 26,006$$

$$\Phi = 90 - \alpha - \arctan (B / 2 * r) = 90 - 15 - \arctan (21,1 / 2 * 29,75) = 55,47$$

Siendo:

r = distancia entre punto de impacto y centro de gravedad en dirección de línea de atraque = $\frac{1}{4} * L = 29,75$

α = ángulo de aproximación establecido entre 10-15° = 15°

Escogemos dicho valor basándonos en la consideración de elegir los valores más altos del rango cuando el atraque se realiza sin ayuda de remolcadores, factor considerado en nuestro diseño. De esta manera:

$$C_e = \frac{(27,7865^2 + 26,006^2 * \cos^2 55,47)}{(27,7865^2 + 26,006^2)} = 0,68$$

3.4.3.1.4.1.4. Coeficiente de configuración de atraque C_c

El coeficiente de configuración del atraque tiene en cuenta el efecto amortiguador del colchón de agua que queda atrapado entre el casco del buque y la estructura de atraque, dando lugar a la aparición de una fuerza adicional sobre el buque y a la absorción de parte de la energía cinética desarrollada por el buque.

La obra de atraque es de tipo muelle y de tipología estructura fija cerrada por lo que según la ROM 2.0-11 el valor de $C_c = 0,9$.

3.4.3.1.4.1.5. Coeficiente de rigidez del sistema de atraque C_s

El coeficiente de rigidez del sistema de atraque tiene en cuenta la proporción de la energía cinética desarrollada por el buque absorbida por la deformación elástica del casco del buque y de la totalidad de este a lo largo de su eje longitudinal en el momento del impacto. La magnitud de este efecto depende de la rigidez relativa entre el buque y el sistema de atraque.

La ROM 2.0-11 establece un valor de $C_s=0,9$ para sistemas muy rígidos y buque de gran eslora. Debido a que la eslora de nuestro buque es inferior a 300 m se considera que no es un buque de gran eslora por lo que se toma el valor recomendado para el resto de los casos $C_s=1$.

3.4.3.1.4.1.6. Coeficiente geométrico del buque C_g

El coeficiente geométrico del buque tiene en cuenta la proporción de energía cinética desarrollada por el buque que es absorbida por el sistema de atraque por efecto de la curvatura del buque en el punto de contacto. Debido a que el lugar de impacto entre defensa y buque es desconocido, la ROM 2.0-11 recomienda usar el valor de $C_g=0,95$.

Tras establecer cada uno de los coeficientes que intervienen, se puede calcular el producto de estos que será necesario en el cálculo de la energía de atraque.

$$C_{b2} = C_s * C_g * C_c * C_e = 1 * 0,95 * 0,9 * 0,68 = 0,5823$$

3.4.3.1.4.2. Desplazamiento

En la ROM 2.0-11 se establece un desplazamiento a plena carga para el buque escogido de 6000 t. Se realiza el cálculo con más exactitud a través de las características descritas a continuación. Considerando el buque tipo descrito anteriormente, el desplazamiento de este viene definido por la siguiente expresión:

$$\Delta = C_b * E_{pp} * B * c * \gamma_w = 0,58 * 111 * 21,1 * 6,3 * 1,03 = 8.815 \text{ t}$$

Siendo:

Δ : desplazamiento a plena carga

c : coeficiente de bloque

L_{pp} : eslora entre perpendiculares

γ_w : densidad agua del mar

B : Manga

C : Calado

V_b : Componente normal a la línea de atraque de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto (m/s).

Por lo tanto, tras realizar el cálculo, el desplazamiento a plena carga será $\Delta= 8.815$ toneladas

3.4.3.1.4.3. Velocidad de aproximación

La velocidad de aproximación del buque en el proceso de atraque constituye una condición de relevancia para el cálculo de la energía de atraque.

Se decide tomar las velocidades referentes al atraque sin ayuda de remolcadores por tratarse de la opción más desfavorable realizándose así el cálculo del lado de la seguridad y considerando el desplazamiento aportado por la ROM 2.0-11. La velocidad de aproximación del buque se obtiene a partir de las gráficas de la Tabla 4.6.4.36 de la ROM. 2.0-11 siendo:

- $V_b = 0,38$ m/s para condiciones climáticas favorables.
- $V_b = 0,55$ m/s para condiciones climáticas moderadas.

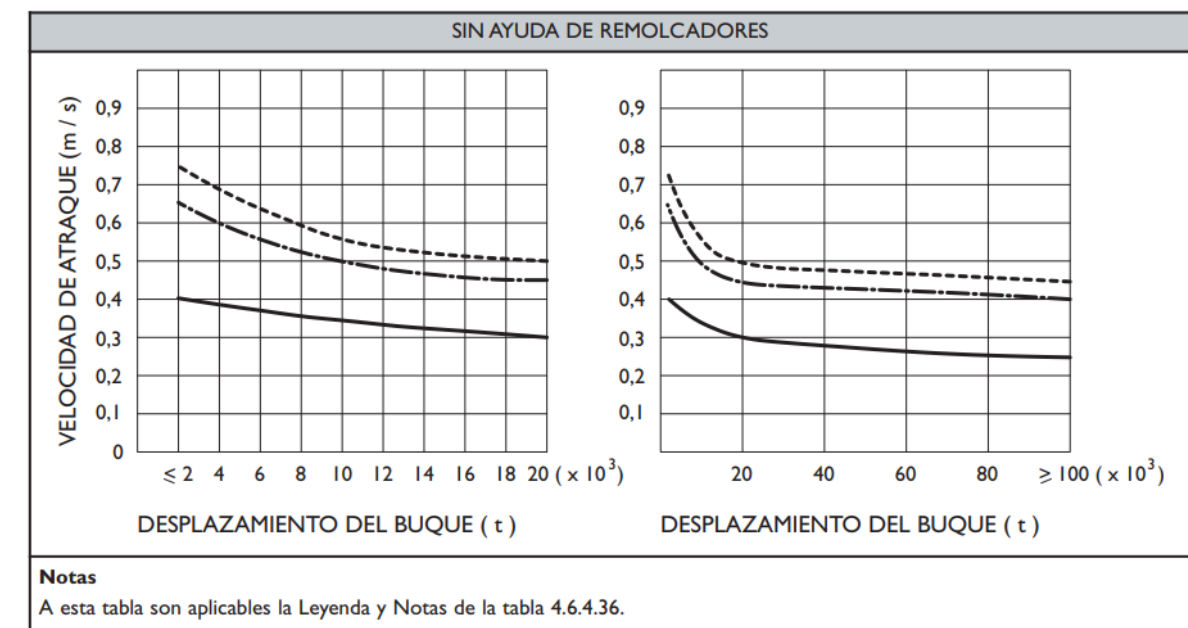


Figura 16. Velocidades de atraque sin ayuda de remolcadores

Se tomarán en cuenta ambas velocidades de aproximación para calcular las energías correspondientes y así poder escoger la más restrictiva y que aporte mayor seguridad al diseño.

3.4.3.1.4.4. Energía cinética

La energía cinética desarrollada por el buque en el atraque puede obtenerse con la siguiente expresión:

$$Eb = \frac{1}{2 * g} * Cm * \Delta * Vb^2$$

Se realiza el cálculo para ambas condiciones estudiadas.

Condiciones favorables:

$$Eb = 1 / (2 * 9,8) * 1,1 * 8.815 * 0,38^2 = 71,43 \text{ t m}$$

Condiciones moderadas:

$$Eb = 1 / (2 * 9.8) * 1.1 * 8.815 * 0.55^2 = 149.65 \text{ t m}$$

3.4.3.1.4.5. Energía a absorber

Una vez definidas las energías cinéticas desarrolladas por el buque, se obtiene la energía a absorber por la defensa que se escoja en el momento del atraque.

$$E_{fi} = Eb * Ce * Cg * Cc * Cs = Eb * Cb$$

Se deben definir los valores de la energía absorbida tanto para condiciones favorables como moderadas.

Condiciones favorables:

$$E_{fi} = 71.43 * 0.68 * 0.95 * 0.9 * 1 = 41.53 \text{ t m}$$

Condiciones moderadas:

$$E_{fi} = 149.65 * 0.68 * 0.95 * 0.9 * 1 = 87.01 \text{ t m}$$

En condiciones extraordinarias el sistema de defensas deberá ser capaz de absorber una energía igual a 1.5 veces la obtenida. Por lo que las energías resultantes más desfavorables en ambas condiciones son:

$$E = 41.53 * 1.5 = 62.30 \text{ t m}$$

$$E = 87.01 * 1.5 = 130.51 \text{ t m}$$

La energía que debe absorber una sola defensa mínima será de 1305.1 kN

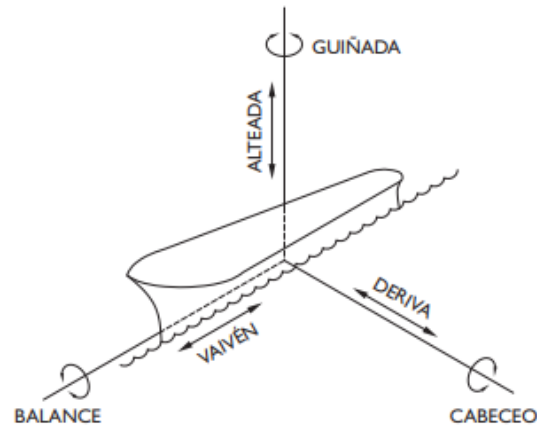
3.4.3.1.4.6. Cuadro resumen de energías

	Velocidad de aproximación (m/s)	
	FAVORABLE	MODERADAS
	0,38	0,55
Desplazamiento (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 (º)	15	15
Vb (m/s)	0,38	0,55
Lpp (m)	111	111
γ_w (t/m3)	1,03	1,03
Cm	1,79	1,79
Cb	0,65	0,65
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
Ce	0,68	0,68
Cs	1	1
Cc	0,9	0,9
Cg	0,95	0,95
ϕ	55,47	55,47
Cb2	0,58	0,58
Eb	71,44	149,65
Energía absorbida, Ef,normal (kN·m)	41,53	87,01
Energía amplificada, Ef,accidental (kN·m)	62,30	130,51

Tabla 20. Cálculos para energía de atraque

3.4.3.1.5. Sistema de amarre

En este apartado se definen los principales parámetros al que se encuentra sometido un buque tanto durante su amarre como durante su traslación. Estos movimientos se pueden observar en las tres direcciones del buque: longitudinal, transversal y sobre su centro de gravedad en vertical, dividiéndose en fuerzas de traslación como la alteada, vaivén y deriva o movimientos sobre el eje correspondiente, como la guiñada, balance o cabeceo.



TIPO DE BUQUE	VAIVÉN (surge) (m)	DERIVA (sway) (m)	ALZADA (heave) (m)	GUIÑADA (yaw) (°)	CABECEO (pitch) (°)	BALANCE (roll) (°)
Petrolero	± 4,00	4,00	± 4,00	± 2	± 2	± 4
Gasero	± 3,00	3,00	± 3,00	± 2	± 2	± 4
Granelero	± 3,50	3,50	± 3,50	± 2	± 2	± 4
Resto de buques	L ≥ 200 m	± 2,00	2,00	± 2,00	± 2	± 4
	100 m < L < 200m	± 1,00	2,00	± 1,00	± 3	± 6
	L ≤ 100 m	± 0,75	2,00	± 0,75	± 4	± 8

Tabla 21. Principales parámetros de un buque durante el atraque

Siendo determinantes estos parámetros, se ha de diseñar un sistema de amarre adecuado para el atraque del buque asegurando su estancia, la seguridad del buque y la del muelle.

3.4.3.1.6. Tiro de bolardo

En primer lugar, se identifica el viento como agente actuante que predomina durante el amarre del buque en el muelle.

Se define como ángulo máximo vertical de las líneas de amarre en 25 grados y deben tener una configuración y disposición según las directrices de la ROM 2.0-11.

El cálculo del tiro de bolardo debe realizarse para condiciones operativas CT1, para condiciones de viento extremas CT2 y para condiciones excepcionales en las que el buque se encuentre amarrado, por lo que se considera como tercera condición la excepcional provocada por sismo CT3.

A través de la tabla anteriormente mencionada referente a los valores umbrales de agentes climáticos y meteorológicos se realizan las siguientes consideraciones.

A. MUELLES Y PANTANALES	Velocidad absoluta del viento $V_{10,1 \text{ min}}$	Velocidad absoluta de la corriente $V_c, 1 \text{ min}$	Altura de la ola H_s
1. Maniobra de atraque de buques			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	17,0 m/s	1,0 m/s	2,0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	10,0 m/s	0,1 m/s	1,5 m
2. Paralización operaciones carga y descarga (para equipos convencionales)			
Acciones en sentido longitudinal al muelle			
■ Petróleos			
< 30.000 TPM	22 m/s	1,5 m/s	1,5 m
30.000-200.000 TPM	22 m/s	1,5 m/s	2,0 m
> 200.000 TPM	22 m/s	1,5 m/s	2,5 m
■ Graneleros			
Cargando	22 m/s	1,5 m/s	1,5 m
Descargando	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
■ Transportadores de Gases Licuados			
< 60.000 m³	22 m/s	1,5 m/s	1,2 m
> 60.000 m³	22 m/s	1,5 m/s	1,5 m
■ Mercantes de carga general, Pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
■ Portacontenedores, Ro-Ros y Ferris	22 m/s	1,5 m/s	0,5 m
■ Transatlánticos y Cruceros (1)	22 m/s	1,5 m/s	0,5 m
■ Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	1,5 m/s	0,6 m
Acciones en sentido transversal al muelle			
■ Petróleos			
< 30.000 TPM	20 m/s	0,7 m/s	1,0 m
30.000-200.000 TPM	20 m/s	0,7 m/s	1,2 m
> 200.000 TPM	20 m/s	0,7 m/s	1,5 m
■ Graneleros			
Cargando	22 m/s	0,7 m/s	1,0 m
Descargando	22 m/s	0,7 m/s	0,8 m
■ Transportadores de Gases Licuados			
< 60.000 m³	16 m/s	0,5 m/s	0,8 m
> 60.000 m³	16 m/s	0,5 m/s	1,0 m
■ Mercantes de carga general, Pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	0,7 m/s	0,8 m
■ Portacontenedores, Ro-Ros y Ferris	22 m/s	0,5 m/s	0,3 m
■ Transatlánticos y Cruceros (1)	22 m/s	0,5 m/s	0,3 m
■ Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	0,7 m/s	0,4 m
3. Permanencia de buques en muelle (5)			
■ Petróleos y transportadores de Gases Licuados			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	30 m/s	2,0 m/s	3,0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	15 m/s	1,0 m/s	2,0 m
■ Transatlánticos y Cruceros (2)			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	22 m/s	0,7 m/s	0,7 m
■ Embarcaciones deportivas (2)	22 m/s	1,5 m/s	0,4 m
■ Acciones en sentido longitudinal al muelle	22 m/s	1,5 m/s	0,4 m
■ Acciones en sentido transversal al muelle	22 m/s	0,7 m/s	0,2 m
■ Otro tipo de buques			

Limitaciones impuestas por las cargas de diseño de los muelles, compatibles con configuraciones de amarre que garanticen la seguridad del buque.

Tabla 22. Valores umbrales de los agentes climáticos y océano-meteorológicos para modo de parada operativa

La velocidad del viento establecida para los Transatlánticos y cruceros limite operativa es de $V_{10,1 \text{ min}} = 22 \text{ m/s}$, tanto para operaciones de embarque y desembarque en sentido longitudinal y transversal al muelle como para permanencia en este.

Para las condiciones extremas de viento, la velocidad limite que genera la tensión nominal del bolardo 100 T es de 28,5 m/s.

En esta tabla se hace una síntesis de las velocidades de viento limite a tener en cuenta en cada una de las situaciones (operativa, extrema y excepcional) para cada una de las direcciones condicionantes de viento, que son las siguientes:

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

	CT1	CT2	CT3.3.2
Dirección	Vv,1min =22 m/s (límite operativo ROM 2.0-11)	Vv,1min = 28.5 m/s	Vv,1min (m/s) p=50 % del RM
NW	22.0	30.2	6.6
NE	22.0	30.2	9.3
WNW	22.0	30.2	6.6

Tabla 23. Velocidades de viento límite

Para el cálculo de los esfuerzos que actúan sobre el buque, se divide en 3 componentes. La primera fuerza horizontal en sentido longitudinal al buque, la segunda fuerza horizontal en sentido transversal y la tercera un momento que tiene como eje la vertical, todas ellas respecto al centro de gravedad del buque.

En este caso, la carga de amarre mínima que debe tenerse en cuenta para el estado de permanencia del buque en el amarre será el valor característico aportado por la ROM 2.0-11 a través de la tabla 4.6.4.66, en la que se definen estos valores para buques amarrados lateralmente o costado a una obra de atraque:

BUQUE DE MAYOR DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (Δ_{pc}) PARA LA FLOTA ESPERABLE EN EL ATRAQUE (t)	VALOR CARACTERÍSTICO MÍNIMO DE LAS CARGAS DE AMARRES EN LOS PUNTOS DEL AMARRE (kN)
≤ 1000	100
1.000 a 5.000	250
5.000 a 10.000	350
10.000 a 20.000	600
20.000 a 50.000	800
50.000 a 100.000	1.000
100.000 a 200.000	1.500
> 200.000	2.000

Tabla 24. Carga de amarre mínima según desplazamiento de buque tipo

Dado que el desplazamiento a plena carga calculado anteriormente para el buque tipo es de 8.815 toneladas, el valor mínimo de carga de amarre correspondiente será de 350 kN.

Si las condiciones climáticas límite para la permanencia de la flota esperable en el muelle se clasifican como tipo III, el valor característico mínimo de las cargas de amarres en los puntos de amarre será incrementado un 0,25 % del valor aportado por la tabla anterior, por lo que será $350 \cdot 1,25 = 437,5$ kN.

Teniendo en cuenta que se ha definido una separación entre bolardos de 20 metros, el tiro de bolardo por metro será:

Condiciones climáticas tipo I y II: $350 / 20 = 17,5$ kN/m

Condiciones climáticas tipo III: $437,5 / 20 = 21,875$ kN/m

3.4.3.1.6.1. Configuración de las amarras

Para definir la configuración de amarre, seguimos las directrices de la ROM 2.0-11 para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque tipo I y II.

En las siguientes figuras se muestran los ángulos tanto en planta como en alzado que deben cumplir las amarras conforme a esta configuración.

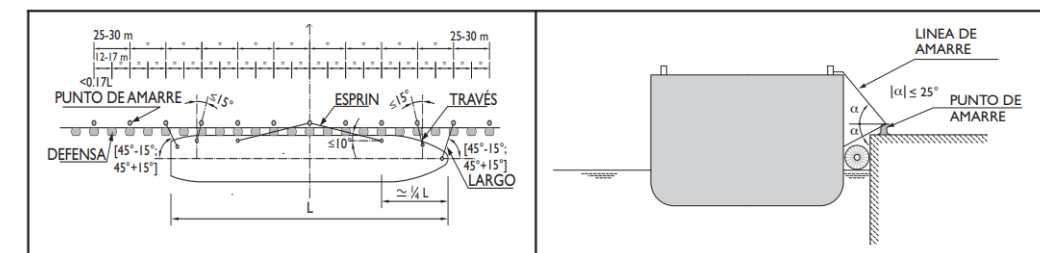


Figura 25. Configuración de las amarras

En cuanto a las tensiones que transmiten cada una de las amarras, se considera que tanto los largos como traveses y esprines trabajan por igual en la absorción de las distintas fuerzas generadas.

Se aplica un coeficiente igual a 1.5 como coeficiente dinámico sobre las tensiones generadas. De esta manera, el tiro amplificado sobre las amarras viene definido por la siguiente expresión:

$$T_{\text{máx}} = 1,5 \cdot \text{máximo } (T_1, T_2)$$

Donde T1 es la tensión en amarras cuando las acciones son de dirección transversal, y T2 es la tensión en amarras cuando las acciones son de componente longitudinal.

4. Procedimientos de verificación

4.1. Modos de fallo adscritos a estados límite

Para la realización de este estudio de alternativas, se van a considerar los siguientes métodos de fallo respecto a la estabilidad de la viga cantil del Muelle 11 del Puerto de Alicante:

4.1.1. 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

4.1.2. Modos de fallo ELS

- Fisuración del hormigón

4.2. Condiciones de trabajo

CT₁: Condiciones operativas normales

Incluyen los estados de proyecto habituales, en los cuales la obra presta el servicio para el que ha sido concebida.

Para garantizar la operatividad de la obra se acotan los valores compatibles de los agentes simultáneos distintos del predominante. Cuando éstos superan los valores umbrales, se supone que la obra deja de estar temporalmente en explotación.

Dentro del grupo de condiciones de trabajo operativas CT₁, para este estudio se considera:

- CT_{1,a}: Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes a la realización de operaciones de embarque y desembarque, con el viento como agente climático considerado.

Los factores existentes actuantes simultáneos en estas condiciones de trabajo son:

- Uso y explotación
- Amarre: Tiro de bolardo
- Atraque: Reacción de la defensa
- Terreno
- Gravitatorios:

CT₂: Condiciones extremas

Incluyen los estados de proyecto asociados a las acciones más rigurosas debidas a los factores de proyecto.

Se considera que la instalación no se encuentra operativa.

Dentro de las condiciones de trabajo extremas CT₂, se distinguen para este proyecto las siguientes:

- CT_{2,a}: Condiciones de Trabajo Extremas con el viento como agente climático considerado.

Los factores existentes actuantes simultáneos en estas condiciones de trabajo son:

- Uso y explotación
 - Estacionamiento en área de operación
 - Tiro de bolardo
 - Atraque: Reacción de la defensa
- Terreno
- Gravitatorios

CT₃: Condiciones excepcionales

Conjunto de estados de proyecto asociados a algunos de los valores de proyecto que cumplen uno de los siguientes factores:

- Probabilidad de ser superados muy pequeña y mucho menor que la probabilidad de presentación de los valores de los factores predominantes que definen las condiciones de trabajo extremas.
- Presentación inesperada y accidental
- Ocurren por razones imprevistas de uso y explotación.

Dentro de las condiciones de trabajo excepcionales CT3, se distingue en este estudio la siguiente:

- CT_{3.3.2}: Condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica.

Los factores existentes actuantes simultáneos en estas condiciones de trabajo son:

- Uso y explotación:
 - Estacionamiento y almacenamiento en área de Operación
 - Amarre: Tiro de bolardo
 - Atrake: Reacción de la defensa
- Medio físico
 - Acción Sísmica
- Terreno
- Gravitatorios

En Condiciones de Trabajo Excepcionales con el viento como agente climático predominante no se permitirá la permanencia del buque en atraque, por lo que no se considera la condición de trabajo CT3.1.1a en la verificación de los modos de fallo del muelle.

No se consideran en este estudio de alternativas para realizar los cálculos pertinentes.

4.3. Duración de las fases

Para el presente estudio se considera la fase de servicio, y de ella las situaciones de largo plazo y de corto plazo, según las condiciones de trabajo existentes.

- Corto plazo

Se comprueba para todas las condiciones de trabajo definidas que se puedan alcanzar alguna vez durante la fase de servicio, es decir, CT1, CT2 y CT3.

- Largo plazo

Se comprueba para las condiciones de trabajo CT1 y CT2. No se comprueba la condición de trabajo CT3 ya que se consideran fenómenos transitorios de corta duración y de muy baja probabilidad de ocurrencia en la vida útil de la obra.

4.4. Criterios de combinación de acciones

De acuerdo con lo dispuesto en la ROM 0.5-05, las combinaciones de carga que se van a considerar para la comprobación de Estados Límite Últimos (ELU) en este estudio son:

Para ELU:

- Combinación fundamental o característica

$$\gamma_g G + \gamma_{q,1} Q_1 + \sum \psi_{0,i} \gamma_{q,i} Q_i$$

G = acciones permanentes

Q₁ = acción variable principal o predominante en la ocurrencia del modo de fallo y acciones variables de actuación simultánea directamente dependientes de la predominante.

Q_i = otras acciones variables de actuación simultánea compatibles con la predominante e independientes estadísticamente de la misma (i=2,...n).

ψ_{0,i} = coeficiente de compatibilidad fundamental (implícito en los valores de las acciones).

γ_g, γ_q = coeficientes de ponderación parciales. Los valores de ponderación parciales de las acciones para la verificación de modos de fallo adscritos a ELU en combinaciones fundamentales se toman de la Tabla 3.3.2 de la ROM 0.5.

- Combinación sísmica

$$G + S + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_i$$

S = acción sísmica

Q_i = acciones variables de actuación simultánea (i = 1, ..., n).

ψ_{2,i} = coeficientes de compatibilidad cuasi-permanente (implícitos en los valores de las acciones)

- Combinaciones accidentales

$$G + A + \psi_1 \cdot Q_1 + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_i \quad (4.1)$$

A = acción extraordinaria

Q1 = acción variable principal o predominante en la ocurrencia del modo de fallo y acciones variables de actuación simultánea directamente dependientes de la predominante.

Qi = otras acciones variables de actuación simultánea compatibles con la predominante e independientes estadísticamente de la misma (i=2,...n).

ψ_1 = coeficiente de compatibilidad frecuente (implícito en los valores de las acciones).

$\psi_{2,i}$ = coeficientes de compatibilidad cuasi-permanente (implícito en los valores de las acciones).

Tabla 3.3.2. Coeficientes de ponderación parciales* de las acciones para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos (ELU). Combinaciones fundamentales.

Acción	Símbolo	Tipo de modo de fallo				
		EQU	STR	GEO	UPL	HYD
Permanente						
Desfavorable	γ_g	1,10	1,35	1,00	1,00	1,35
Favorable		0,90	1,00	1,00	0,90	0,90
Variable						
Desfavorable	γ_q	1,50	1,50	1,30	1,50	1,50
Favorable		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(*) Estos coeficientes no son de aplicación en aquellas obras en que por criterios de optimización económica no puedan admitirse probabilidades de ocurrencia de los modos de fallo geotécnicos similares a las consideradas con carácter general en esta ROM (p.e. en los diques de abrigo). Ver comentario del apartado 3.3.5.3

Tabla 25. Coeficientes de ponderación parciales ELU

Los valores de compatibilidad, ψ , están implícitos en los valores de combinación obtenidos de la ROM 2.0.

5. 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. 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.
- “Proyecto de construcción de la adecuación de la viga cantil del Muelle 11, Puerto de Alicante”, de fecha Julio 2018
- “Proyecto reformado del modificado de nuevos Muelles en Poniente y dársena de embarcaciones de pesca del Puerto de Alicante”, 1955 (Proyecto de liquidación del año 1958).
- Proyecto de Ampliación del Muelle Nº11", del año 1975 (Proyecto de liquidación del año 1979).
- “Proyecto de ampliación del Muelle 11 y 7+9 del Puerto de Alicante”, de fecha junio de 2003.
- “Proyecto de Construcción de la prolongación del Muelle 13 del Puerto de Alicante”, de fecha julio 2017.
- Información topográfica, batimétrica y geotécnica más reciente de la zona de actuación.