

Hoja de control de calidad

Documento	Anejo nº3 Criterios de diseño		
Proyecto	Proyecto Básico de Remodelación del Club Náutico Portitxol y adecuación del entorno		
Código	CP2684-PB-AN-03-CP-CriteriosDiseño-D02		
Autores:	Firma:	VMA	
	Fecha:	09/10/25	
Verificado	Firma:	BPM	
	Fecha:	09/10/25	
Destinatario	Club Náutico Portitxol		
Notas			
Confidencialidad	Información confidencial		

Índice

Anejo nº2	3
1. Alcance del diseño	3
2. Batimetría y cartografía	7
3. Niveles del mar	8
4. Embarcaciones de diseño	9
4.1. Dimensiones embarcaciones según ROM	9
4.2. Dimensiones embarcaciones según PIANC	10
4.3. Valores considerados	11
5. Criterios generales de proyecto	12
5.1. Definición de tramos	12
5.2. Carácter general	12
5.2.1. Índice de repercusión económica (IRE)	12
5.2.2. Índice de repercusión social y ambiental (ISA)	13
5.2.3. Criterios del proyecto dependientes del carácter general	15
5.3. Carácter operativo	15
5.3.1. Índice de repercusión económica operativa (IREO)	15
5.3.2. Índice de repercusión social y ambiental operativo (ISAO)	16
5.3.3. Criterios del proyecto dependientes del carácter operativo	17
5.4. Periodo de retorno	18
5.5. Método de verificación	19
5.5.1. Método de verificación	19
5.5.2. Combinación de acciones	19
5.5.3. Valor de cálculo de una acción	21
5.5.4. Ecuación de verificación y coeficientes de seguridad	21

Anejo nº2

Crterios de diseo

1. Alcance del diseo

En este anejo se recogen las bases de partida consideradas en el “Proyecto Bsico de Remodelacin del Club Nautico Portitxol y Adecuacin de su Entorno”. A continuacin, se muestra una imagen del Puerto de Portitxol en su estado actual, en la que se sealan las zonas de actuacin que se describen ms adelante.



Imagen 1 . Estado actual Puerto de Portitxol y zonas de actuacin. Fuente: Google

La actuación de remodelación que se lleva a cabo comprende los siguientes elementos de obra marítima.

▪ **Actuación en la dársena interior explotada por el Club Náutico de Portitxol:**

- **(Zona 1)** Reordenación de pantalanes. Se retiran los 7 pantalanes fijos actuales y se diseñan 6 nuevos pantalanes flotantes, 5 de ellos con pilotes guía. El pantalán restante está sujeto al muelle de la ampliación de la Calle Sirena mediante vigas guía. Los nuevos pantalanes darán atraque a embarcaciones de hasta 8m de eslora.

En esta zona se lleva a cabo igualmente la demolición y reparación del cantil del muelle del club náutico desde el cual se accede a los nuevos pantalanes mencionados.

- **(Zona 2)** Relleno y formación de un nuevo muelle de hormigón sumergido para la ampliación del tramo en la Calle Sirena.
- **(Zona 3)** Relleno y formación de un nuevo muelle de hormigón sumergido para una nueva ubicación de la Escuela de Vela, que actualmente tiene sus instalaciones junto al restaurante del Club Náutico.
- **(Zona 4)** Sustitución del pantalán fijo existente por un nuevo pantalán flotante con pilotes guía para embarcaciones de 5m a 12m de eslora. Este pantalán está actualmente gestionado por la Autoridad Portuaria de Baleares y pasa a gestión del Club Náutico de Portitxol.
- Los nuevos muelles y pantalanes están dotados de instalaciones necesarias como red contra incendios, torretas de suministro eléctrico y de agua para los nuevos atraques, así como elementos de amarre y de seguridad. Además se diseña una red de drenaje de recogida de aguas residuales en varadero y saneamiento.
- Limpieza de calados en la dársena interior donde se ubican los nuevos pantalanes 1 a 7 hasta la cota -2,00. Gran parte del fondo marino existente entre el pantalán 8 y la escuela de vela se draga a la cota -2,70 para favorecer el acceso de embarcaciones de 12m de eslora
- El total de amarres en la dársena interior es de 269. Incluye los amarres de los nuevos pantalanes flotantes, y de los nuevos muelles de la ampliación de la Calle Sirena y Escuela de Vela. También se incluyen nuevos amarres en el Muelle de Es Portitxol que pasa a disposición del CNP, y sobre el cual no se realizan modificaciones en el presente proyecto. La distribución de esloras es la siguiente:

DÁRSENA INTERIOR		ESLORAS	Nº ATRAQUES
		5m	53
		6m	53
		7m	71
		8m	77
		9m	2
		10m	7
		11m	2
		12m	4

Tabla 1. Distribución de esloras en la dársena interior del CNP. Fuente: TYP SA

A continuación se incluye una imagen con la planta general proyectada:

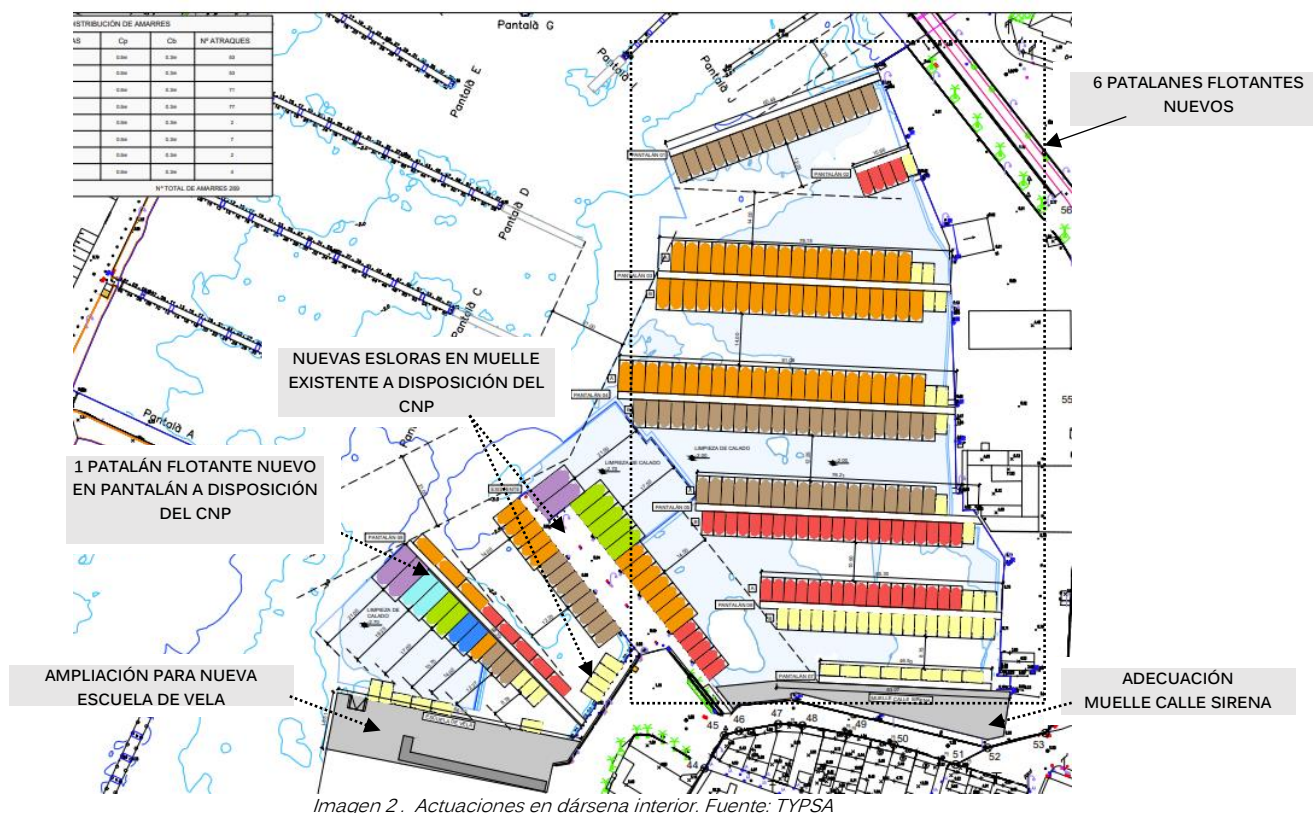


Imagen 2. Actuaciones en dársena interior. Fuente: TYP SA

■ Nueva dársena exterior (Zona 5):

- Prolongación del dique de Sa Roqueta hacia el interior para crear una nueva dársena exterior con tres pantalanes flotantes con pilotes guía que dan amarre a 51 embarcaciones de entre 8 y 12m de eslora. Está formada por una alineación expuesta al oleaje con espaldón en coronación hasta la cota +4,00 y manto exterior conformado por escollera de 4t de peso. El peso de escollera ha sido obtenido a partir de la información del dique existente en el puerto próximo de El Molinar. Deberán ser verificados en fase de Proyecto de Construcción, una vez se disponga de la información completa necesaria para su diseño, principalmente la relativa al clima marítimo y las características geotécnicas del fondo marino.
- El dique prolongado incorpora un muelle en su trasdós en lugar de un talud de escollera; de esta manera se consigue dar más amplitud al interior de la dársena. Por el mismo motivo, el morro del dique actual de Sa Roqueta que queda en el interior de la dársena se demuele y se reconstruye con la misma sección del tronco, favoreciendo maximizar la longitud del pantalán 11. Por último, se retira la ribera de escollera que cierra la dársena, así como parte de la plataforma portuaria sobre la que se apoya para habilitar un nuevo muelle por el que se accede a los tres pantalanes flotantes. De este modo, se maximiza el número de amarres en la nueva dársena.
- Limpieza de calados en la nueva dársena hasta la -2,70m.

- El total de amarres en esta nueva dársena es de 51, distribuidos de la siguiente forma:

NUEVA DÁRSENA		ESLORAS	Nº ATRAQUES
		8m	20
		9m	14
		10m	9
		11m	4
		12m	4

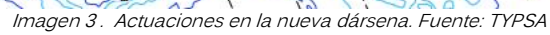
Tabla 2. Distribución de esloras en la nueva dársena del CNP. Fuente: TYP SA

■ (Zona 6) Dársena abrigada por el dique de Troneras:

- **Nuevo varadero:** Formación de una nueva explanada habilitada como varadero mediante la retirada de la escollera existente en la protección del talud, el vertido de relleno hasta la cota correspondiente y la creación de un nuevo muelle de cierre de 14m de longitud y una rampa de varada. El resto de la nueva alineación está protegida por escollera para reducir la agitación en la dársena.
- **Pantalán de combustibles:** Ubicación de un pantalán flotante junto al varadero como muelle para repostaje de combustible de embarcaciones hasta 12m de eslora. Su longitud permite evitar la retirada de escollera del trasdós del dique de Troneras y así no afectar a su estabilidad.
- Limpieza de calados en la nueva dársena hasta la -2,70m.

En todas las actuaciones se contempla la demolición de las estructuras e instalaciones existentes, así como la retirada de escollera de afección de la obra marítima, necesaria para la construcción de las nuevas infraestructuras.

A continuación se incluye una imagen con la planta general proyectada:



2. Batimetría y cartografía

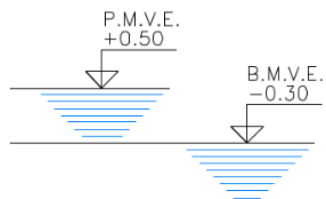
Se considera la batimetría facilitada por la Autoridad Portuaria de Baleares con fecha de 2023 y curvas de nivel referenciadas al 0,00 REDMAR. En cuanto a la cartografía, se toma de referencia la facilitada igualmente por la Autoridad Portuaria de Baleares.



Imagen 4. Batimetría y cartografía de la zona de actuación. Fuente: Autoridad Portuaria de Baleares

3. Niveles del mar

Tal y como se indica en la memoria de la Autoridad Portuaria de Baleares, la máxima carrera de marea en la zona del puerto es de 80cm, siendo la cota de la BMVE respecto del cero REDMAR del puerto la -0,30m. La PMVE es, por tanto, la +0,50m respecto del cero REDMAR del puerto.



El esquema DATUM del mareógrafo de Palma, tal y como aparece en la información de Puertos del Estado, muestra que el NMMM (Nivel Medio del Mar en Mallorca) se encuentra -0,163m por debajo del cero REDMAR

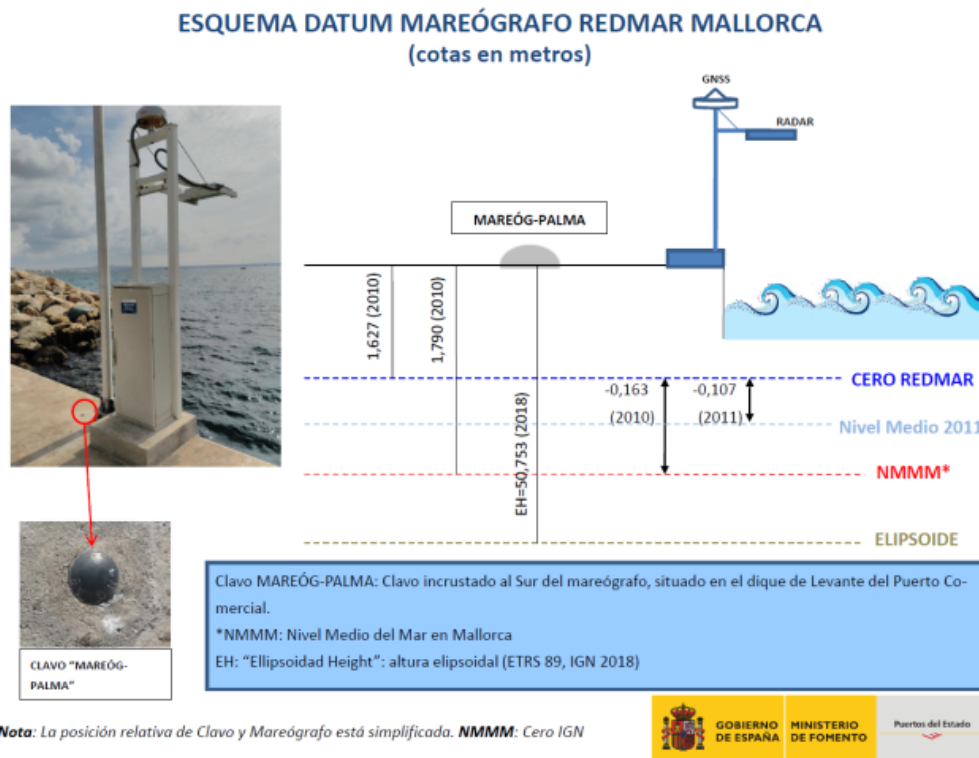


Imagen 5. Actuaciones en la nueva dársena. Fuente: TYPESA

4. Embarcaciones de diseño

La distribución de esloras en las dos zonas de actuación es la siguiente:

- **Dársena interior :**
 - Pantalanes 1 a 7: Embarcaciones de 5m, 6m, 7m y 8m de eslora
 - Muelle de Portitxol y pantalán 8 que pasan a disposición del CNP: embarcaciones de 5m, 6m, 7m, 8m, 9m, 10m, 11m y 12m de eslora
 - Escuela de vela: embarcaciones de 5m de eslora
- **Nueva dársena exterior:**
 - Embarcaciones de 8m, 9m, 10m 11m y 12m de eslora

A continuación, se presentan las dimensiones de las embarcaciones correspondientes a cada eslora consideradas en los cálculos. Para su determinación, se ha tomado como referencia la información proporcionada por las recomendaciones ROM y PIANC, así como información de embarcaciones reales existentes. Cabe señalar que la ROM ofrece valores de manga y calado conservadores, situándose en ocasiones en el lado de la seguridad.

4.1. Dimensiones embarcaciones según ROM

Las dimensiones que recoge la ROM 2.0-11 para embarcaciones a motor y vela son las siguientes. No incluye todo el rango de esloras que se consideran en el proyecto.

	MOTOR			VELA			
L (m)	7	10	15	5	6	10	12
Lpp (m)	6	8.5	12.5	4.3	5.7	9.5	11
B (m)	2.5	4	5.2	2	2.4	3.5	3.8
D (m)	1.3	1.6	2.2	1	1.5	2.1	2.3

Tabla 3. Dimensiones embarcaciones deportivas según ROM 2.0-11. Fuente: ROM 2.0-11

4.2. Dimensiones embarcaciones según PIANC

El documento “Report n°149/part I-2016” de PIANC expone distintos gráficos que representan las relaciones de calado y eslora así como de manga y eslora tanto para embarcaciones a motor como de vela. Se indican a continuación:

■ Relación eslora y calado

Los siguientes gráficos muestran relaciones típicas entre calado y eslora para embarcaciones monocasco a motor y veleros. Los gráficos también indican la mediana y el intervalo que abarca al 90 % de la población.

En general, los veleros presentan un mayor calado en comparación con las embarcaciones a motor, aunque en muchos casos disponen de quillas retráctiles, por lo que no necesariamente determinan la profundidad requerida para la navegación y el atraque.

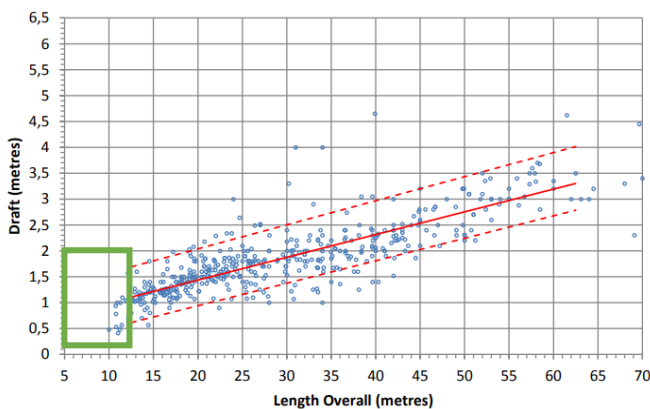


Figure 4-3: Draft to Length Overall Relationship (motorboats)

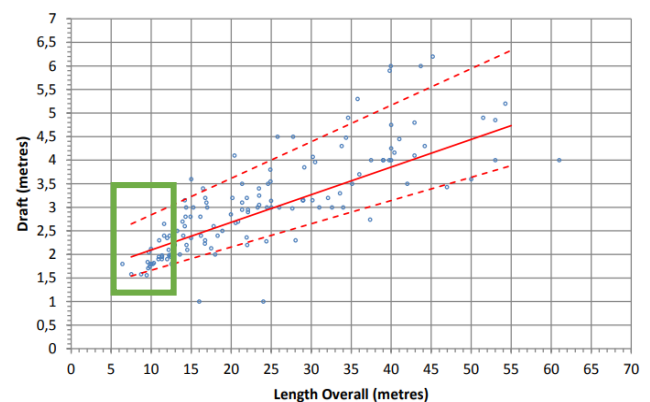


Figure 4-4: Draft to Length Overall Relationship (sailing boats)

Imagen 6. Relación eslora y calado. Izquierda: motor. Derecha: vela. Fuente: PIANC

En el caso de embarcaciones a motor, se observa que la nube de puntos aparece a partir de los 10m de eslora. El rango de valores de calado para embarcaciones de 10m y 12m está comprendido entre 0,5m y 1m aproximadamente

En el caso de las embarcaciones a vela, la nube de puntos arroja valores de calado en un rango de 1,5m y 2,2m para embarcaciones de 8m y 12m respectivamente.

■ Relación eslora y manga :

Los siguientes gráficos muestran dimensiones y relaciones típicas entre manga y eslora para embarcaciones monocasco a motor y veleros. Los gráficos también representan la mediana y el intervalo que abarca al 90 % de la población.

Las embarcaciones a motor suelen tener una manga mayor en comparación con los veleros, excluyendo las embarcaciones multicasco, que requieren una consideración especial.

La manga de la embarcación tipo se tiene en cuenta al planificar los aspectos relacionados con la navegación como los canales de acceso y las dimensiones de los atraques (ancho de las plazas).

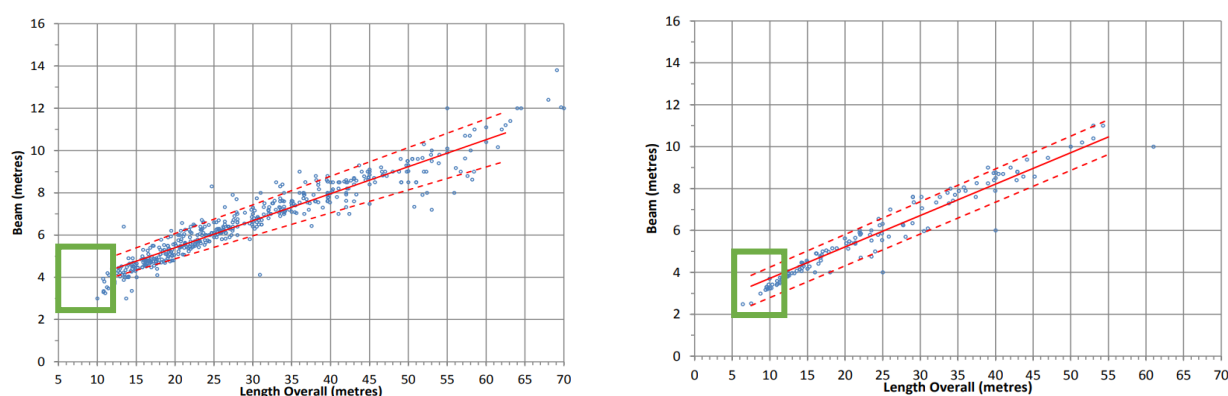


Imagen 7. Relación manga y eslora. Izquierda: motor. Derecha: vela. Fuente: PIANC

En relación a la manga, no hay datos para embarcaciones menores de 10m de eslora. A partir de esta eslora y hasta lo 12m, y según la nube de puntos, los valores de manga de las embarcaciones están comprendidos entre 3 y 4,1m.

En las embarcaciones de vela, los valores de la nube de puntos están agrupados en el rango de 2,2m y 4m aproximadamente.

4.3. Valores considerados

Los parámetros que se consideran en el diseño son los siguientes. Se han determinado comparando con fuentes de datos de embarcaciones reales:

	MOTOR				VELA			
L (m)	5	6	7	8	5	6	7	8
B (m)	2,5	2,6	2,8	3	2,1	2,3	2,5	2,7
D (m)	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1	1,2	1,4
	MOTOR				VELA			
L (m)	9	10	11	12	9	10	11	12
B (m)	3,1	3,3	3,5	4,0	2,9	3,2	3,5	4,0
D (m)	0,8	0,9	1,0	1,1	1,6	1,8	2	2,1

Tabla 4. Dimensiones de embarcaciones consideradas en los cálculos. Fuente: elaboración propia

Además, para el diseño de la bocana se tiene en consideración las dimensiones del City Boat o “Bus Nautic” que amarrará en el interior de las instalaciones portuarias en un atraque de la APB. Sus dimensiones son:

- Eslora: 25m,
- Manga: 9m
- Calado: 1,7m

5. Criterios generales de proyecto

5.1. Definición de tramos

De acuerdo con el apartado 2.2.6 de la ROM 0.0 se define como tramo de obra al conjunto de las partes de esta que cumplen solidariamente con los objetivos y funciones para la que ha sido concebida, y está sometido a los mismos niveles de acción de los agentes actuantes y se define con la misma tipología formal y estructural.

En función de dicha definición de tramo de obra, se tiene:

- Tramo I: Muelles
- Tramo II: Prolongación del dique de abrigo

Con el fin de establecer los criterios generales de proyecto, en esta fase del estudio se incluyen únicamente los correspondientes a los muelles. Dado que no se dispone de la información necesaria para dimensionar la prolongación del dique de Sa Roqueta, los criterios de diseño de esta infraestructura se definirán en fases posteriores del proyecto, de forma conjunta con su desarrollo técnico.

5.2. Carácter general

El carácter general de la Obra se determina a partir de los índices de repercusión económica (IRE) y de repercusión social y ambiental (ISA), considerando lo indicado a estos efectos en la ROM 2.0-11 *"Obras de atraque y amarre"*.

5.2.1. Índice de repercusión económica (IRE)

Este índice valora cuantitativamente las repercusiones económicas que pueden producirse en caso de destrucción o pérdida de operatividad total de la Obra. Atendiendo a la tabla 3.4.2.1 de la ROM 2.0-11 se tienen los siguientes valores de IRE y vida útil mínima para un puerto deportivo.

Tabla 3.4.2.1. Índices de Repercusión Económica (IRE) y vidas útiles mínimas (V_{\min}) recomendados para las obras de atraque y amarre en función de su uso

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	Alto (Medio) ²	50 (25) ²
		Cruceros	r ₂	Medio	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 r₂ 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 r₂ cuando se pueda disponer de instalaciones alternativas.

(3) El índice IRE se elevará a r₃ 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 r₁ y r₂ de la tabla se elevarán un grado por cada 25 M€ de inversión inicial de la obra de atraque.

Tabla 5. IRE y vida útil de proyecto. Fuente: ROM 2.0-11

Los valores adoptados son, por tanto, los siguientes:

IRE (instalación náutico-deportiva)	ÍNDICE IRE	VIDA ÚTIL MÍNIMA (V_{\min})
	r_1 , Bajo	15 años

Tabla 6. IRE y vida útil de proyecto. Fuente: ROM 2.0-11

5.2.2. Índice de repercusión social y ambiental (ISA)

Este índice estima cualitativamente el impacto social y ambiental esperable en el caso de producirse la destrucción o la pérdida de la operatividad total de la obra marítima, y en base al mismo se establece la siguiente clasificación de las Obras.

$ISA \leq 5$	$5 < ISA \leq 20$	$20 < ISA < 30$	$ISA > 30$
S1 Obra sin repercusión social y ambiental significativa	S2 Obra con repercusión social y ambiental baja	S3 Obra con repercusión social y ambiental alta	S4 Obra con repercusión social y ambiental muy alta

Tabla 7. IRE y vida útil de proyecto. Fuente: ROM 2.0-11

Se define por el sumatorio de los subíndices ISA_1 , ISA_2 e ISA_3 indicados a continuación.

Subíndice de posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas ISA_1			
Remoto (0)	Bajo (3)	Alto (10)	Catastrófico (20)

Subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio artístico ISA ₂				
Remoto (0)	Bajo (2)	Medio (4)	Alto (8)	Muy Alto (15)
Subíndice de alarma social ISA ₃				
Bajo (0)	Medio (5)	Alto (10)	Máxima (15)	

Tabla 8. Valores ISA. Fuente: ROM 2.0-11

En este caso, adoptando los valores de dichos subíndices que se considera de aplicación al proyecto, se obtiene el siguiente valor del ISA.

ISA ₁	ISA ₂	ISA ₃	ISA
Bajo (3)	Remoto (0)	Bajo (0)	s1 = 3 No significativo

Tabla 9. Valores ISA. Fuente: elaboración propia

De acuerdo con ello, se tiene una clasificación S1 correspondiente a **s1: Obra sin repercusión social y ambiental significativa**.

No obstante, a efectos de estimar la probabilidad conjunta de fallo durante la vida útil a modos de fallo adscritos a Estado Límite Último, $P_{f,ELU}$, se adopta lo indicado en la tabla 3.4.2.2 de la ROM 2.0-11, que, para obras de instalaciones náutico-deportivas, propone adoptar un valor de $P_{f,ELU} = 0,10$ correspondiente en este caso a un índice ISA de s2.

Tabla 3.4.2.2. Índices de Repercusión Social y Ambiental (ISA) y máximas probabilidades conjuntas de fallo durante la vida útil correspondientes a modo de fallo adscritos a Estados Límites Últimos ($p_{f,ELU}$) y a Estados Límite de Servicio ($p_{f,ELS}$), recomendados para las obras de atraque y amarre en función de su uso

USO	TIPO DE MERCANCÍA		ÍNDICE ISA ²		$P_{f,ELU}$ ^{2, 3}	$P_{f,ELS}$ ^{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 (s₄) 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 10. ISA y probabilidad de fallo. Fuente: ROM 2.0-11

5.2.3. Criterios del proyecto dependientes del carácter general

- **Vida útil**

Se determina en función del IRE obtenido, correspondiendo en este caso adoptar una vida útil de 15 años.

- **Máxima probabilidad de fallo frente a los estados últimos**

La probabilidad conjunta de fallo frente a los modos de fallo principales adscritos a los estados límite últimos de la Obra ($P_{f,ELU}$), máxima admisible durante la vida útil de la misma, se determina en base al ISA, correspondiendo en este caso adoptar un valor $p_{f,ELU}=0,10$.

ISA	$P_{f,ELU}$
Instalación náutico-deportiva tabla 3.4.2.2 ROM 2.0-11	0,10

Tabla 11. Valor de probabilidad de fallo en ELU. Fuente ROM 2.0-11

- **Máxima probabilidad de fallo frente a estados límite de servicio.**

La probabilidad conjunta de fallo frente a los modos de fallo principales adscritos a los estados límite de servicio de la Obra ($p_{f,ELS}$), máxima admisible durante la vida útil de la misma, se determina igualmente en base al ISA obtenido, correspondiendo en este caso adoptar un valor $p_{f,ELS}=0,30$.

ISA	$P_{f,ELS}$
Instalación náutico-deportiva tabla 3.4.2.2 ROM 2.0-11	0,30

Tabla 12. Valor de probabilidad de fallo en ELS. Fuente ROM 2.0-11

5.3. Carácter operativo

Las repercusiones económicas y los impactos social y ambiental que se producen cuando una obra marítima deja de operar o reduce su nivel de operatividad, se valoran por medio de su carácter operativo, el cual se determina a partir de los índices de repercusión económica operativa (IREO) y de repercusión social y ambiental operativo (ISAO).

5.3.1. Índice de repercusión económica operativa (IREO)

Este índice se valora a partir de los costes ocasionados por la parada operativa de una obra marítima, y en base al mismo se establece la siguiente clasificación de las Obras.

IREO ≤ 5	$5 < \text{IREO} \leq 20$	IREO > 20
ro1 Obra con repercusión económica operativa baja	ro2 Obra con repercusión económica operativa media	ro3 Obra con repercusión económica operativa alta

Tabla 13. Clasificación IREO. Fuente: ROM 2.0-11

El valor de este índice puede estimarse cualitativamente a través de la siguiente relación.

$$IREO = F \cdot (D + E)$$

Donde:

- “D” caracteriza la simultaneidad de los períodos de presentación de los agentes que provocan la pérdida de la operatividad con los períodos de la demanda.
- “E” caracteriza la intensidad de uso de la demanda en el período de tiempo considerado.
- “F” caracteriza la adaptabilidad de la demanda y del entorno económico al modo de parada.

Siendo los valores propuestos para dichos coeficientes los siguientes.

Coeficiente de simultaneidad (D)		
Periodos no simultáneos (0)	Periodos simultáneos (5)	
Coeficiente de intensidad (E)		
Poco intensivo (0)	Intensivo (3)	Muy intensivo (5)
Coeficiente de adaptabilidad (F)		
Adaptabilidad alta (0)	Adaptabilidad media (1)	Adaptabilidad baja (3)

Tabla 14. Valores de los coeficientes para el cálculo de IREO. Fuente: ROM 2.0-11

En este caso, en función de las características que se prevén para la demanda de uso de la Obra, se decide adoptar los siguientes valores de los coeficientes indicados, a partir de los cuales se obtiene un IREO=30, correspondiente a Obra con repercusión económica operativa alta (ro3).

D	E	F	IREO
5	5	3	30

Tabla 15. Valores de IREO adoptados. Fuente: elaboración propia

5.3.2. Índice de repercusión social y ambiental operativo (ISAO)

Este índice se valora cualitativamente en función de la repercusión social y ambiental esperable, para el caso de que se produjese la parada operativa de la obra marítima, considerando la posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas, daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico artístico, y la alarma social generada, estableciéndose en base al mismo la siguiente clasificación de las Obras.

ISAO ≤ 5	5 < ISAO ≤ 20	20 < ISAO ≤ 30	ISAO > 30
so1 Obra sin repercusión social y ambiental significativa	so2 Obra con repercusión social y ambiental baja	so3 Obra con repercusión social y ambiental alta	so4 Obra con repercusión social y ambiental muy alta

Tabla 16. Clasificación ISAO. Fuente: ROM 2.0-11

El valor del índice puede obtenerse por el sumatorio de los subíndices indicados a continuación.

Subíndice de posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas ISAO ₁				
Remoto (0)	Bajo (3)	Alto (10)	Catastrófico (20)	
Subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio artístico ISAO ₂				
Remoto (0)	Bajo (2)	Medio (4)	Alto (8)	Muy Alto (15)
Subíndice de alarma social ISAO ₃				
Bajo (0)	Medio (5)	Alto (10)	Máxima (15)	

Tabla 17. Valores de ISAO. Fuente: ROM 2.0-11

En este caso, la parada operativa de las instalaciones proyectadas por causa de un estado límite de servicio, no daría lugar ni a pérdida de vidas humanas, ni a daños en el medio ambiente o en el patrimonio artístico, pudiendo únicamente generar una alarma social de nivel bajo, por lo que se tiene ISAO = 3, correspondiente a una Obra sin repercusión social y ambiental significativa (so1).

ISAO ₁	ISAO ₂	ISAO ₃	ISAO
Bajo (3)	Remoto (0)	Bajo (0)	3

Tabla 18. Valor de ISAO adoptados en el proyecto. Fuente: elaboración propia

5.3.3. Criterios del proyecto dependientes del carácter operativo

▪ Operatividad mínima

Se establece en base al IREO obtenido, resultando en este caso un IREO alto RO3 y, por tanto, un valor de 0,99.

Tabla 3.4.2.3. Índices de Repercusión Económica Operativos (IREO) y operatividades mínimas durante la vida útil, ($r_{f,ELO}$) recomendados para la obra de atraque y amarre en función de su uso

USO	TIPO DE MERCANCÍA		ÍNDICE IREO		$r_{f,ELO} = 1 - P_{f,ELO}$
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 19. Clasificación IREO. Fuente: ROM 2.0-11

▪ Número medio de paradas

El ISAO obtenido es SO1, correspondiente a *Obra sin repercusión social y ambiental significativa*.

No obstante, a efectos del determinar el número medio de paradas, se adopta lo indicado en la tabla 3.4.2.4. de la ROM 2.0-11 que establece un máximo número medio de paradas operativas para instalaciones náutico-deportivas de 5 (correspondiente a un ISAO SO2).

Tabla 3.4.2.4. Índices de Repercusión Social y Ambiental Operativos (ISAO) y máximo número medio anual de paradas operativas (N_m), recomendados para las obras de atraque y amarre en función de su uso

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 20. Clasificación ISAO. Fuente: ROM 2.0-11

■ Duración máxima de parada.

Se establece en base a los IREO (alto) e ISAO (no significativo) adoptados, recomendándose en este caso que, en la fase de servicio de la Obra, la duración máxima probable de parada no exceda de 6 h.

Tabla 3.4.4.1. Duraciones máximas probables de parada operativa (τ_{max}) para las obras de atraque y amarre que no es recomendable que sean superadas

ÍNDICE IREO	ÍNDICE ISAO	
	No significativo	Bajo
Bajo	24 horas	12 horas
Medio	12 horas	6 horas
Alto	6 horas	3 horas

Tabla 21. Duración máxima de la parada. Fuente: ROM 2.0-11

5.4. Periodo de retorno

El período de retorno o recurrencia asignado a la ocurrencia de un modo principal (T_R) se obtiene a partir de la vida útil (V) y la máxima probabilidad de fallo ($p_{n,v}$) asignadas a la Obra, mediante la siguiente expresión.

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

■ Estado Límite Último

De acuerdo con lo anterior, se obtiene en este caso que el periodo de retorno asignados a los modos de fallo principales resulta de 142 años.

Vida Útil	P_{fELU}	Período de Retorno
15 años	0,10	142 años

Tabla 22. Periodo de retorno ELU

■ Estado Límite de Servicio

Vida Útil	P _{FELU}	Período de Retorno
15 años	0,30	42 años

Tabla 23. Período de retorno ELS

5.5. Método de verificación

5.5.1. Método de verificación

De acuerdo con lo indicado tanto en la ROM 0.0 como en la ROM 2.0-11, el método de resolución de la ecuación de verificación depende del carácter general de la obra y es función del IRE y del ISA, cuyos valores son:

- IRE R1 con repercusión económica BAJA. IRE bajo
- ISA S1 (≤ 5) con repercusión social y ambiental baja. ISA no significativo.

En base a estos parámetros, según la tabla 4.6. de la ROM 0.0 y la tabla 3.3.5.1. de la ROM 2.0-11, se tiene que uno de los métodos de resolución de la ecuación de verificación a contemplar es el definido como Métodos de Nivel I: Coeficientes de seguridad global.

Tal y como se indica en el apartado 5.2 *Coeficientes de Seguridad Global* de la ROM 0.0, este método de verificación aplica cuando el tramo de obra tiene un carácter bajo (r_1 , s_1), o el alcance de los trabajos es el de un Estudio previo. En este caso, si bien efectivamente el carácter de la obra de estudio es bajo, el alcance del estudio corresponde a un Proyecto Básico, por lo que se opta por aplicar el método de Nivel I: Coeficientes de seguridad parciales a efectos de cálculo.

IRE	ISA			
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
r_1	(1)	(2)	(2) y [(3) ó (4)]	(2) y [(3) ó (4)]
r_2	(2)	(2)	(2) y [(3) ó (4)]	(2) y [(3) ó (4)]
r_3	(2) y [(3) ó (4)]	(2) y [(3) ó (4)]	(2) y [(3) ó (4)]	(2) y [(3) ó (4)]
(1) Métodos de Nivel I: Coeficientes de seguridad global. (2) Métodos de Nivel I: Coeficientes de seguridad parciales. (3) Métodos de Nivel II: Momentos estadísticos y técnicas de optimización. (4) Métodos de Nivel III: Integración y simulación numérica.				

Tabla 24. Métodos de resolución de la ecuación de verificación en función de los índices de repercusión económica (IRE) y de Impacto Social y Ambiental (ISA). Fuente: ROM 2.0-11

En relación al método de Nivel I Coeficientes de seguridad parciales, y de acuerdo con lo dispuesto en la ROM 0.5-05, las combinaciones de acciones consideradas en la comprobación de Estados Límite Últimos (ELU) evaluados mediante métodos de Nivel I son las obtenidas a partir de las siguientes combinaciones genéricas. En ellas, los valores de las acciones están afectados por coeficientes de ponderación parcial y de combinación de acciones, tal y como recoge el Método de los Coeficientes Parciales en el apartado 5.3. *Método de los Coeficientes Parciales* de la ROM 0.0.

5.5.2. Combinación de acciones

Las combinaciones de acciones que se estudian en la comprobación de Estados Límite Últimos son las siguientes:

■ **Combinación cuasi-permanente**

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

Donde:

G = acciones permanentes

Q_i = acciones variables de actuación simultánea

ψ_{0,2} = coeficiente de compatibilidad cuasi-permanente

■ **Combinación fundamental o característica:**

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

Donde:

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

γ_g, γ_q = coeficientes de ponderación parciales

■ **Combinación accidental:**

$$G + A + \psi_1 Q_1 + \sum \psi_{2,i} Q_i$$

Donde:

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

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

ψ₁ = coeficiente de compatibilidad frecuente

ψ_{2,i} = coeficientes de compatibilidad cuasi-permanente

■ **Combinación sísmica:**

En relación al estudio sísmico, la aceleración básica en la zona es inferior a 0,04g, por lo que se exime de dicha comprobación.

Siendo:

ψ_{0,2} ψ_{0,i} ψ_{2,i} ψ₁ = coeficientes de combinación

γ_g, γ_q = coeficientes de ponderación parciales

5.5.3. Valor de cálculo de una acción

5.5.3.1. Coeficientes de combinación

Se define como valor de cálculo de una acción, el obtenido como producto del valor representativo (fundamental – $\psi_0 F_k$, frecuente – $\psi_1 F_k$ o cuasi-permanente – $\psi_2 F_k$) por un coeficiente de seguridad:

$$F_d = \gamma_f \Psi_i F_k$$

Los coeficientes de combinación para las sobrecargas de uso y explotación serán los siguientes:

ψ_0	ψ_1	ψ_2
0,70	0,60	0,50

Tabla 25. Coeficientes de compatibilidad. Fuente ROM 0.0

5.5.3.2. Coeficientes de ponderación

Los coeficientes de ponderación de las acciones sólo se considerarán en las combinaciones fundamentales o características. En las combinaciones cuasi-permanentes, las accidentales no se aplica.

La mayoración de acciones para el caso de combinaciones fundamentales se realizará con coeficientes distintos según el tipo de agente causante de la acción, de su clasificación temporal (permanente o variable), de su sentido de participación en la ocurrencia del modo (favorable o desfavorable), así como del tipo de modo de fallo considerado. Se incluyen en la siguiente tabla

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

5.5.4. Ecuación de verificación y coeficientes de seguridad

En el apartado 3.3.5. *Métodos de cálculo* de la ROM 2.0-11 se indica que la ecuación de verificación del modo de fallo es una ecuación de estado que se formula en términos de margen de seguridad:

$$g(X_i) = R(X_1, \dots, X_m) - S(X_{m+1}, \dots, X_{m+n}) \geq 0$$

O de coeficiente de seguridad:

$$g'(X_i) = R(X_1, \dots, X_m) / S(X_{m+1}, \dots, X_{m+n}) \geq 1$$

Siendo $R(X_i)$ las variables favorables y $S(X_{m+i})$ las desfavorables

En el apartado 3.3.4. *Métodos de cálculo* de la ROM 0.5-05, se indica que “las ecuaciones de verificación de los problemas más comunes de la geotecnia suelen expresarse en formato de “coeficiente de seguridad”, F , considerando acciones mayoradas y resistencias no minoradas como sigue:

$$F = \frac{T_f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{T_d(x_1, x_2, \dots, x_n)}$$

Y es ésta la que está definida para los modos de fallo más comunes, según tabla 4.2.1. de la ROM 0.5, donde se recogen los coeficientes de seguridad mínimos a aplicar para la verificación de modos de fallos para ISA bajo ($5 < ISA < 19$)¹.

Tabla 4.2.1. Coeficientes de seguridad mínimos recomendados para el proyecto de muelles de gravedad. ISA bajo (5 a 19)

Apartado donde se define el método de cálculo asociado	Estados Límite Últimos de rotura de tipo geotécnico* (GEO)	Tipos de combinación		
		Cuasi-Permanentes F_1	Fundamentales o Características F_2	Accidentales o Sísmicas F_3
3.5.5	Deslizamiento en el contacto hormigón-banqueta de apoyo	1,5	1,3	1,1
3.5.5	Deslizamiento en el contacto de la banquetta y el terreno natural	1,5	1,3	1,1
3.5.4	Hundimiento	2,5	2	1,8
3.5.6 y 3.7.11.3	Vuelco plástico	1,5	1,3	1,1
3.8	Estabilidad global	1,4	1,3	1,1
—	Erosión interna del trasdós	MP	—	—
—	Socavación del pie del intradós	MP	—	—

* Son los controlados, principalmente, por la resistencia del terreno.

MP En estos casos la seguridad no suele ser cuantificada. El problema puede evitarse tomando medidas preventivas adecuadas (MP).

Nota 1: Antes de utilizar estos coeficientes de seguridad deben conocerse los métodos de cálculo asociados que se definen en esta ROM, descritos en este apartado 4.2 y en los apartados que se indican en la primera columna.

Nota 2: Atendiendo al carácter de la obra y a la duración de la situación de proyecto se deberán hacer las modificaciones mencionadas en 3.3.8 y 3.3.10, a los efectos de adecuar los coeficientes de seguridad recomendados.

Nota 3: Los coeficientes de seguridad indicados frente al hundimiento corresponden al uso de la fórmula polinómica (apartado 3.5.4.8) o al uso de métodos de rebanadas. Para otros métodos se usarán los coeficientes de seguridad mínimos que se indican en la Tabla 3.5.6.

Tabla 26. Coeficientes de seguridad mínimos para muelles de gravedad ISA bajo (5 a 19). Fuente: ROM 0.5-05

No obstante a lo anterior, en el apartado 5.2.2 de este documento se concluyó que el valor de ISA obtenido es 3 y, por tanto, inferior al valor mínimo de 5 a partir del cual se considera de aplicación la tabla anterior 4.2.1. de la ROM 0.5-05. Por tanto, estrictamente no sería de aplicación la aplicación de los coeficientes de seguridad indicados en dicha tabla.

En este sentido, y en relación al coeficiente de seguridad, la ROM 0.5-05 indica que “...*puede aceptarse como hipótesis una distribución normal del logaritmo del coeficiente de seguridad. Esta hipótesis lleva a concluir*

¹ Estos coeficientes de seguridad mínimos para cada modo de fallo están relacionados en último término con los coeficientes parciales aplicables en general a los términos resistentes, que en este caso adoptan valor unidad al no mirarse resistencias.

que el coeficiente de seguridad mínimo que debe exigirse para cualquier tipo de combinación F_i ($i=1,2,3$), que aquí se denomina abreviadamente F , depende exponencialmente del índice de fiabilidad requerido y, en consecuencia, puede escribirse”:

$$F = F_0 \cdot \exp[\xi(\beta - \beta_0)] \geq 1$$

Donde:

F_0 = coeficiente de seguridad asociado con un índice de fiabilidad o confianza β_0

F = coeficiente de seguridad asociado con un índice de fiabilidad o confianza β

ξ = desviación típica de $\ln F$

A título orientativo puede usarse el siguiente valor:

$$\xi = 0,15 F_{I-0,10}$$

donde F_I es el coeficiente de seguridad mínimo exigible en combinaciones cuasi-permanente para un modo de fallo en obras de carácter ISA bajo (5 a 19) indicado en la tabla anterior.

En la siguiente tabla 3.2.1 de la ROM 0.5-05 se definen para distintos rangos de ISA los siguientes parámetros:

- Los índices de fiabilidad y confianza β y β_0
- La máxima probabilidad de fallo individual en la vida útil correspondiente a modos de fallo principales del tipo geotécnico asociada a los métodos de verificación de Nivel I

Tabla 3.2.1. Probabilidad de fallo individual asociada a los métodos de verificación de Nivel I que se adoptan en esta ROM (Estados Límite Últimos. Modos de fallo geotécnicos)

Índice ISA	No significativo < 5	Bajo 5 a 9	Alto o muy alto ≥ 20
Máxima probabilidad de fallo en la vida útil	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}
Índice de confianza	2,33	3,09	3,72

Tabla 27. Probabilidad de fallo individual asociada a los métodos de verificación de Nivel I. Fuente: ROM 0.5-05

De dicha tabla se desprende lo valores de:

$$\beta = 2,33$$

$$\beta_0 = 3,09$$

Aplicando las formulaciones anteriores a los coeficientes de seguridad de la tabla 4.2.1 de la ROM 0.05-05 correspondientes a los modos de fallo geotécnicos de deslizamiento, hundimiento y vuelco plástico y para las combinaciones cuasi-permanente, fundamental y accidental, se obtienen los siguientes coeficientes de seguridad reducidos de aplicación al proyecto asociados a una probabilidad de fallo individual de 10^{-2} .

	Cuasi-permanente (F0)	Fundamental o característica (F0)	Accidental (F0)	ξ	Cuasi-permanente (F)	Fundamental o característica (F)	Accidental (F)
Deslizamiento	1,5	1,3	1,1	0,13	1,36	1,18	1
Hundimiento	2,5	2	1,8	0,28	2,03	1,62	1,46

Vuelco plástico	1,5	1,3	1,1	0,13	1,36	1,18	1
--------------------	-----	-----	-----	------	------	------	---

Tabla 28. Coeficientes de seguridad reducidos de aplicación correspondientes a ISA<5. Fuente: elaboración propia