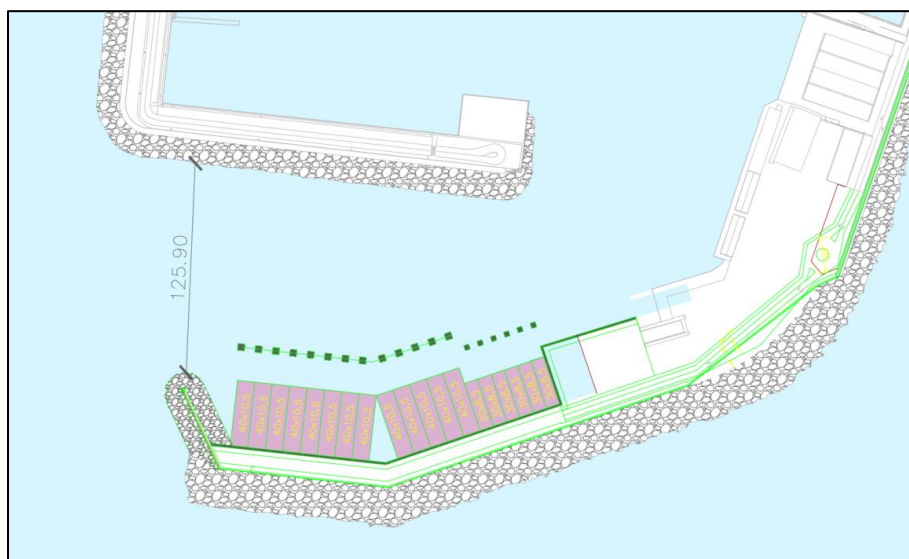


**Análisis de maniobrabilidad de una
embarcación pesquera y otra de recreo
mediante modelo autopiloto para evaluar el
impacto del proyecto de rehabilitación y
mejora del dique de abrigo en el acceso por la
bocana al Puerto de Arenys de Mar, Barcelona**



Cliente: Enginyeria Reventós, S.L.



Fecha: febrero 2026

Índice

1. Introducción	1
2. Condiciones de la simulación	2
2.1. Disposición en planta y batimetría	2
2.2. Condiciones hidro-meteorológicas.....	5
2.2.1. Viento	5
2.2.2. Oleaje	6
2.2.3. Nivel de agua	9
2.2.4. Selección de escenarios	9
2.3. Embarcaciones de estudio	10
3. Estudio con modelo numérico SHIPMA	11
3.1. Introducción	11
3.2. Metodología.....	11
3.2.1. Planteamiento y ejecución de las maniobras	12
3.2.2. Evaluación y valoración de las maniobras	13
3.2.3. Evaluación del área de navegación requerida.....	13
3.3. Casos analizados	14
3.4. Descripción y evaluación de las maniobras	16
3.4.1. Maniobras de entrada.....	16
3.4.2. Maniobras de salida	18
3.5. Evaluación del área de navegación requerida	21
3.5.1. Evaluación de resultados y conclusiones.....	24
4. Resumen y conclusiones	32

4.1. Resumen.....	32
4.2. Conclusiones.....	33
4.3. Comentarios adicionales	34

Anejos

ANEJO I:	PLANOS
ANEJO II:	CARACTERÍSTICAS DE LAS EMBARCACIONES ANALIZADAS
ANEJO III:	DESCRIPCIÓN DEL MODELO SHIPMA
ANEJO IV:	GRÁFICOS DE TRAYECTORIA Y DE VARIABLES DE MANIOBRA
ANEJO V:	ESPACIOS DE NAVEGACIÓN SEGURA: METODOLOGÍA Y GRÁFICOS

1. Introducción

A solicitud de **Enginyeria Reventós, S.L.** se realiza un estudio de maniobras para analizar el paso por la bocana del **Puerto de Arenys de Mar** en Barcelona para un pesquero y un velero, ambos con una eslora total de 30m.

Se analizan las maniobras tanto para el estado actual del puerto como para el puerto futuro tras el proyecto de rehabilitación y mejora del dique de abrigo, comparando la **accesibilidad** de las embarcaciones de estudio hasta el interior del puerto en base a las modificaciones previstas. El proyecto consiste en la incorporación de un espaldón en su parte final, la creación de un muelle en la parte interior y la incorporación de un nuevo tacón en la bocana, lo que reduce la lámina de agua.

El **objetivo** del estudio es, por tanto, evaluar el paso de las embarcaciones de estudio entre la bocana y el interior del puerto para las dos configuraciones y determinar el espacio de maniobra necesario, verificando si el espacio disponible es adecuado tras la futura modificación que se llevará a cabo en el dique de abrigo del puerto.

Se utiliza el **Modelo Numérico de Maniobra de Buques con Autopiloto (SHIPMA 7.4.2)**, que reproduce el comportamiento de un buque específico durante la ejecución de las maniobras de acceso o salida de puerto, sometido a la acción de los agentes ambientales (viento, corriente, oleaje, profundidad limitada, succión de orilla, etc.). Para ello, dispone de un **piloto automático**, que desarrolla las acciones necesarias para mantener una trayectoria objetivo predefinida. Previamente, se fijan la posición y condiciones iniciales del buque, así como una serie de restricciones al uso de la máquina y remolcadores.

El desarrollo del trabajo se lleva a cabo apoyándose en la metodología descrita en la normativa de Puertos del Estado, **ROM 3.1-99 - “Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Áreas de Flotación”**. También se tiene en cuenta las recomendaciones de **PIANC** (Asociación Internacional de Navegación), en su informe **Report 121 “Harbour Approach Channels. Design Guidelines” (2014)**.

2. Condiciones de la simulación

2.1. Disposición en planta y batimetría

El **Puerto de Arenys de Mar** se ubica en la costa mediterránea, en la provincia de Barcelona, dentro de la comunidad autónoma de Cataluña. Se localiza aproximadamente a 25 millas náuticas al noreste del puerto de Barcelona, entre los núcleos costeros de Caldes d'Estrac y Canet de Mar.

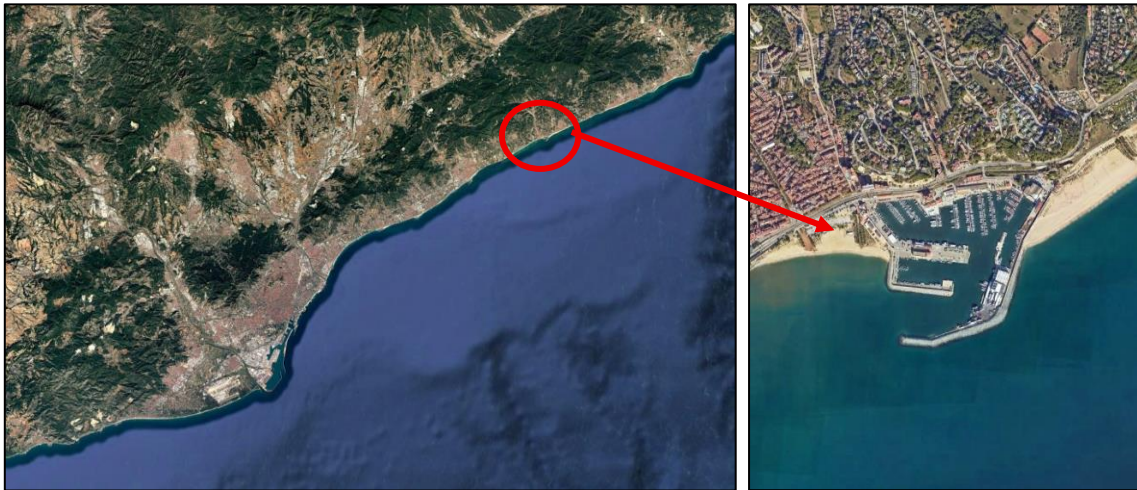


Figura 1. Ubicación del Puerto de Arenys de Mar.

El Puerto de Arenys de Mar cuenta con dos diques de abrigo que delimitan y protegen la bocana de acceso al recinto portuario. El **dique de Levante**, con una longitud aproximada de **830 m**, constituye la principal obra de abrigo frente a los oleajes dominantes del sector **E-SE**, mientras que el **dique de Poniente**, de unos **480 m de longitud**, complementa la protección del puerto y define la entrada a la dársena pesquera.

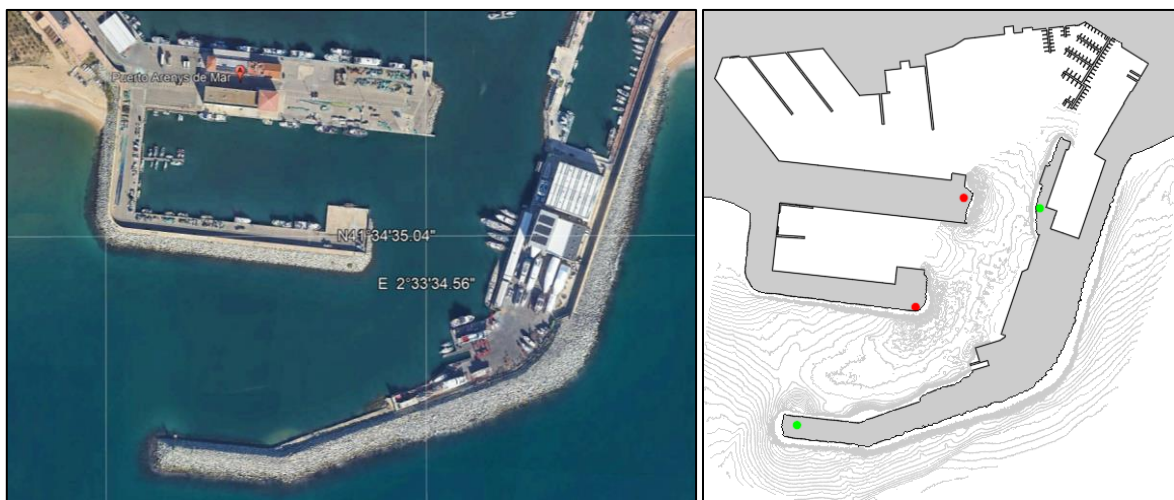


Figura 2. Situación actual del Puerto de Arenys de Mar, Barcelona

La actuación prevista (futura) se desarrolla íntegramente en el dique de Levante, y se plantea como una mejora funcional del espacio interior abrigado, compatible con la operativa actual. La actuación proyectada consiste en la reordenación y adecuación de su paramento interior, mediante la ejecución de 2 nuevos frentes de atraque para embarcaciones y la mejora de la línea de muelle existente, manteniéndose la traza general del dique exterior y su función principal de abrigo. También incluye la construcción de un espaldón en la parte final del dique de abrigo y un contradique en el extremo.

Para el estudio de la situación futura del puerto, se analiza la siguiente alternativa, donde se tiene en cuenta a la hora de plantear la maniobra que frente a los atraques de embarcaciones de 40x10.5 m (situados en la zona Oeste) y de 30x8.5 m (en la zona Este) hay muertos de fondeo para amarre de estas:



Figura 3. Disposición general de la futura configuración del dique de abrigo

En la siguiente figura se muestra la disposición general de la situación futura, que incluye la futura ampliación descrita, la posición de los muertos de fondeo de los nuevos atraques y la batimetría del Puerto de Arenys de Mar que se considera para el estudio de acuerdo a la información proporcionada por el cliente.

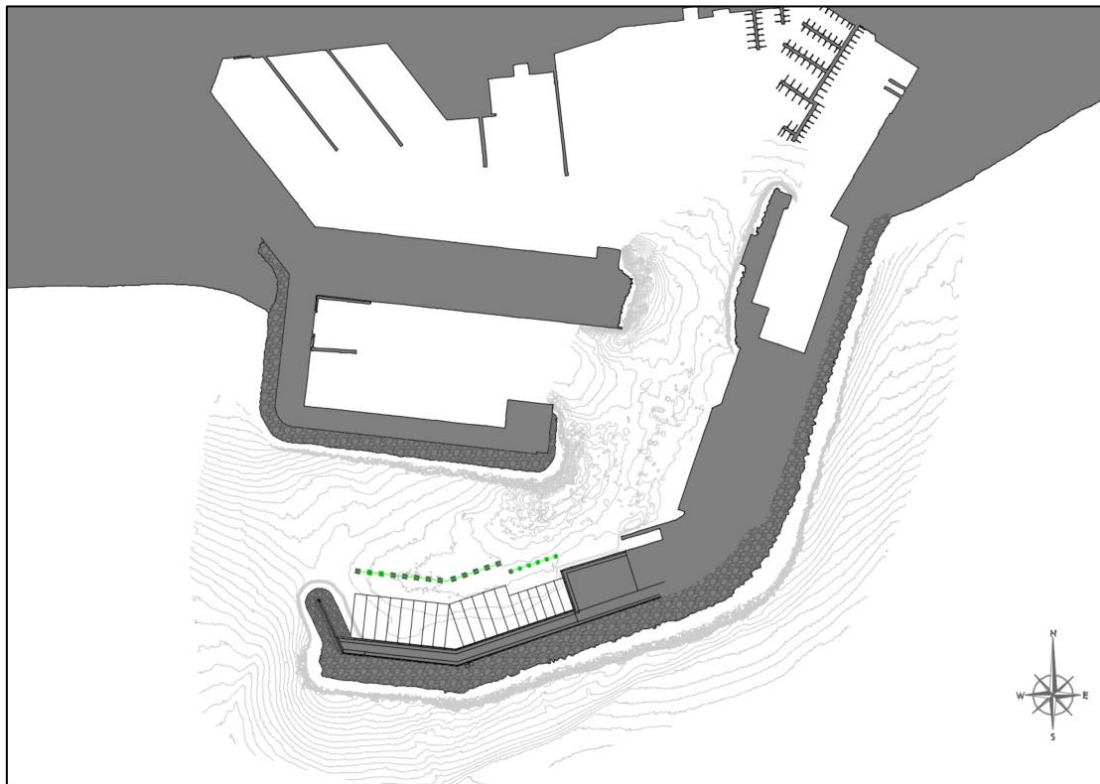


Figura 4. Disposición general del Puerto de Arenys de mar tras la obra y batimetría.

En la aproximación a puerto las **profundidades** son superiores a 10 m. En la zona de la bocana y acceso del puerto, las profundidades varían entre 8.0 m y 6.0 m, garantizando así un calado operativo suficiente para permitir el acceso de las embarcaciones de estudio.

En el **Anejo I** se presentan los planos de disposición general de la zona de estudio incluyendo la batimetría.

2.2. Condiciones hidro-meteorológicas

Las **condiciones hidrometeorológicas consideradas** en el presente estudio han sido obtenidas a partir de la información proporcionada por el cliente en el siguiente documento:

- “*PROJECTE DE REFORÇ DEL DIC DE RECER DEL PORT D’ARENYS DE MAR. Annex 1 Clima maritim y Annex 3 Estudi d’agitació interior (ECOSOST, mayo de 2021)*”.

La **corriente** en la zona presenta una intensidad reducida, por lo que su efecto sobre la maniobra de las embarcaciones se considera despreciable, y no será considerada en el presente estudio.

Por tanto, y de acuerdo con los objetivos del estudio, considerando la ubicación de la zona y las embarcaciones de estudio, los factores meteorológicos más relevantes a tener en cuenta son el **viento y el oleaje**.

2.2.1. Viento

Los datos de viento incluidos en el documento de referencia indicado se recogen en la siguiente figura y tabla, que muestran la rosa de los vientos y la tabla de encuentros velocidad - dirección del punto SIMAR 2115138:

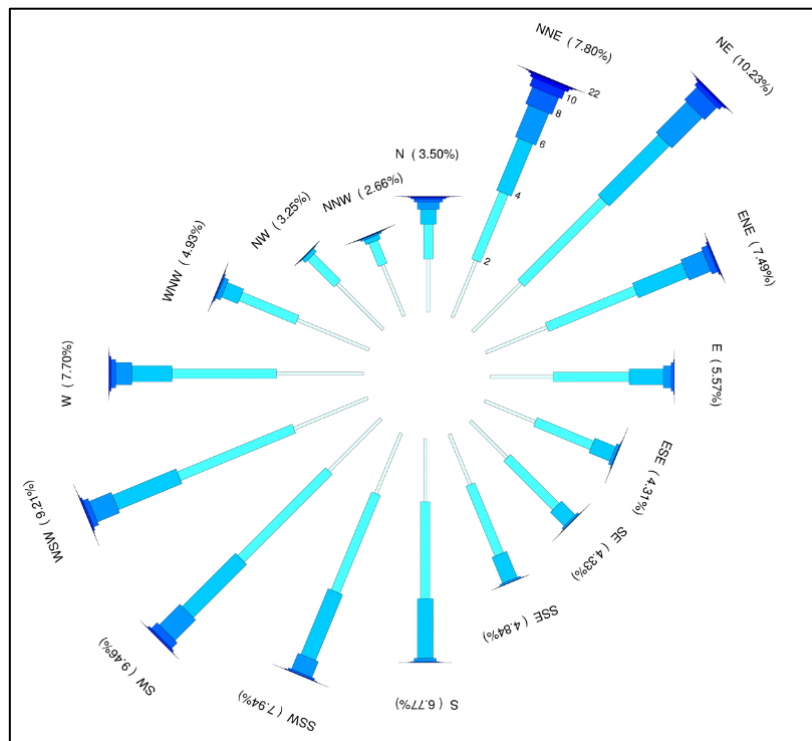


Figura 5. Rosa de los vientos (Fuente: PROJECTE DE REFORÇ DEL DIC DE RECER DEL PORT D’ARENYS DE MAR)

Tabla 1. Tabla de encuentros velocidad - dirección (Fuente: PROJECTE DE REFORÇ DEL DIC DE RECER DEL PORT D'ARENYS DE MAR)

Sector/Hs	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	%	TOTAL
Calmas													0,01%	34
N	8362	5499	2371	1126	503	256	89	41	30	2	6	0	3,50%	18285
NNE	9716	11534	8939	5459	2862	1396	510	224	92	31	6	4	7,80%	40773
NE	10816	18479	13483	6833	2775	728	233	82	35	2	0	0	10,23%	53466
ENE	10481	15111	8484	3721	983	269	82	27	8	0	0	0	7,49%	39166
E	9955	12070	5358	1254	364	112	7	1	1	0	0	0	5,57%	29122
ESE	8687	9681	3535	499	108	36	7	0	1	1	0	0	4,31%	22555
SE	8207	10913	3073	339	56	19	5	1	1	0	0	0	4,33%	22614
SSE	8589	11944	4426	295	52	16	3	0	0	0	0	0	4,84%	25325
S	9999	15298	9435	534	89	26	0	0	1	0	0	0	6,77%	35382
SSW	10351	16761	11260	2694	309	96	20	0	0	1	0	0	7,94%	41492
SW	11622	19659	11885	4623	1285	316	52	1	1	0	0	0	9,46%	49444
WSW	12640	19662	10878	3763	860	243	87	17	9	0	1	0	9,21%	48160
W	13750	16524	6355	2551	715	253	82	12	2	0	0	0	7,70%	40244
WNW	12268	9679	2774	746	209	83	21	10	4	0	0	0	4,93%	25794
NW	10222	5952	640	125	42	31	0	0	0	0	0	0	3,25%	17012
NNW	8779	3932	770	266	80	39	28	9	4	0	0	0	2,66%	13907
%	31,46%	38,77%	19,83%	6,66%	2,16%	0,75%	0,23%	0,08%	0,04%	0,01%	0,00%	0,00%	100,00%	
TOTAL	164444	202698	103666	34828	11292	3919	1226	425	189	37	13	4		522775

Según los datos disponibles, los vientos predominantes en el puerto de Arenys de mar provienen de los sectores NE (**Levante**) y del SW (**Garbí**). Además, los datos de intensidades del viento muestran una frecuencia de presentación del 6.6% para vientos de 6-8 m/s, de 2.16 % para 8-10 m/s y 0.75% para vientos de 10-12 m/s. Las excedencias respectivas son 3.3%, 1.1% y 0.4%.

2.2.2. Oleaje

Para la caracterización del oleaje se consideran la siguiente figura y tabla que muestran la rosa de oleaje y la tabla de encuentros Hs - dirección en la bocana:

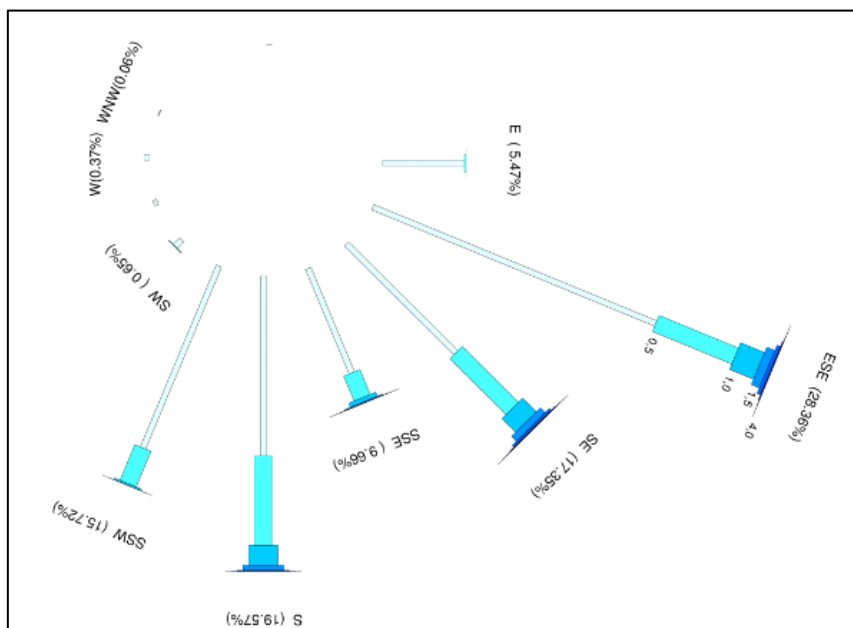


Figura 6. Rosa de oleaje (Fuente: PROJECTE DE REFORÇ DEL DIC DE RECER DEL PORT D'ARENYS DE MAR)

Tabla 2. Tabla de encuentros Hs - dirección (Fuente: PROJECTE DE REFORÇ DEL DIC DE RECER DEL PORT D'ARENYS DE MAR)

Sector/Hs	0.0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	%	TOTAL
Calmas													2.52%	13180
N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	0
NNE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	0
NE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	0
ENE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	0
E	28014	565	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.47%	28582
ESE	105105	29461	8893	2972	1221	322	85	17	3	0	0	0	28.36%	148079
SE	53121	27269	6685	2320	840	214	113	11	3	0	0	0	17.35%	90576
SSE	39170	9287	1490	369	88	16	7	0	0	0	0	0	9.66%	50427
S	62242	30936	6861	1683	411	53	6	0	0	0	0	0	19.57%	102192
SSW	68087	13327	632	32	2	0	0	0	0	0	0	0	15.72%	82080
SW	3124	247	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.65%	3371
WSW	1352	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.26%	1352
W	1952	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.37%	1952
WNW	290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06%	290
NW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	0
NNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	0
%	69.43%	21.28%	4.71%	1.41%	0.49%	0.12%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	
TOTAL	362457	111092	24564	7376	2562	605	211	28	6	0	0	0		522081

Según la información disponible, se observan dos sectores predominantes, el **ESE** y el **S**, las cuales tienen una mayor ocurrencia y altura de ola significativa. La altura significativa en el rango de 2.0 m a 2.5 m tiene una excedencia del 0.2%, mientras que la excedencia del oleaje de hasta 2.0 m es 0.7%.

De cara a la modelización del oleaje, se considera la **propagación** del oleaje hasta el interior del puerto teniendo en cuenta el abrigo producido por el dique **de Levante**. Para ello, se emplean los gráficos de agitación de oleaje incluidos en el anexo 3 del informe “PROJECTE DE REFORÇ DEL DIC DE RECER DEL PORT D'ARENYS DE MAR. Annex 3 Estudi d'agitació interior”. A continuación, se muestran las figuras de propagación del oleaje consideradas para la modelización del oleaje para las direcciones ESE y S. Se han considerado los mismos campos de oleaje tanto para la situación actual del puerto como para la configuración futura al no disponerse de gráficos de agitación específicos para la planta futura, siendo estos algo conservadores para la situación futura donde se espera que el contradique proporcione un mayor nivel de protección interior frente al oleaje.

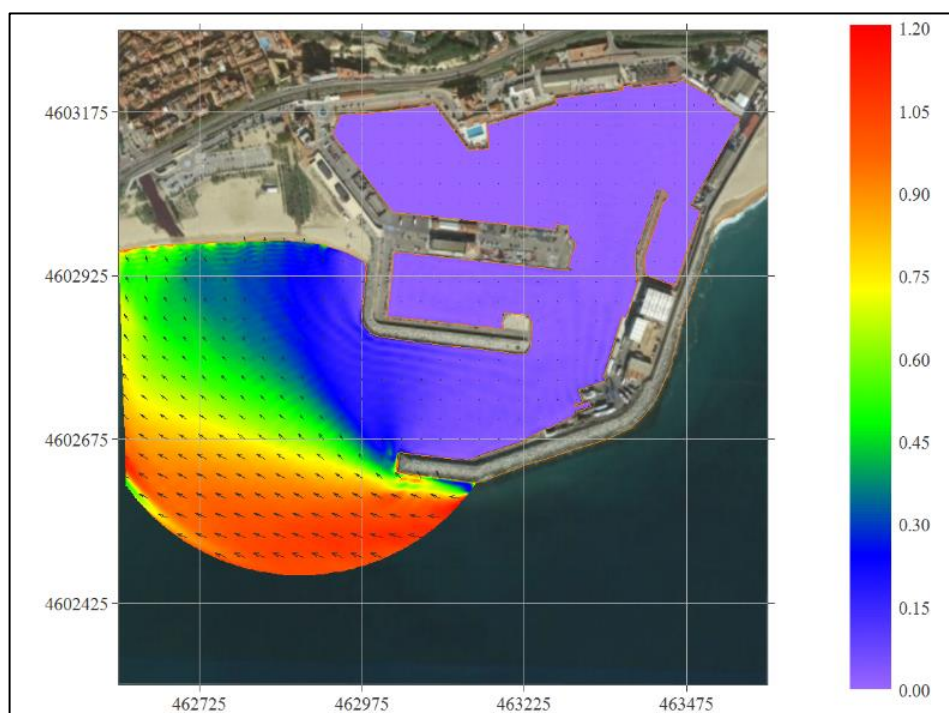


Figura 7. Gráfico de propagación de oleaje ESE para $H= 1$ m, T_p 5 s. Fuente: “*PROJECTE DE REFORÇ DEL DIC DE RECER DEL PORT D’ARENYS DE MAR*”

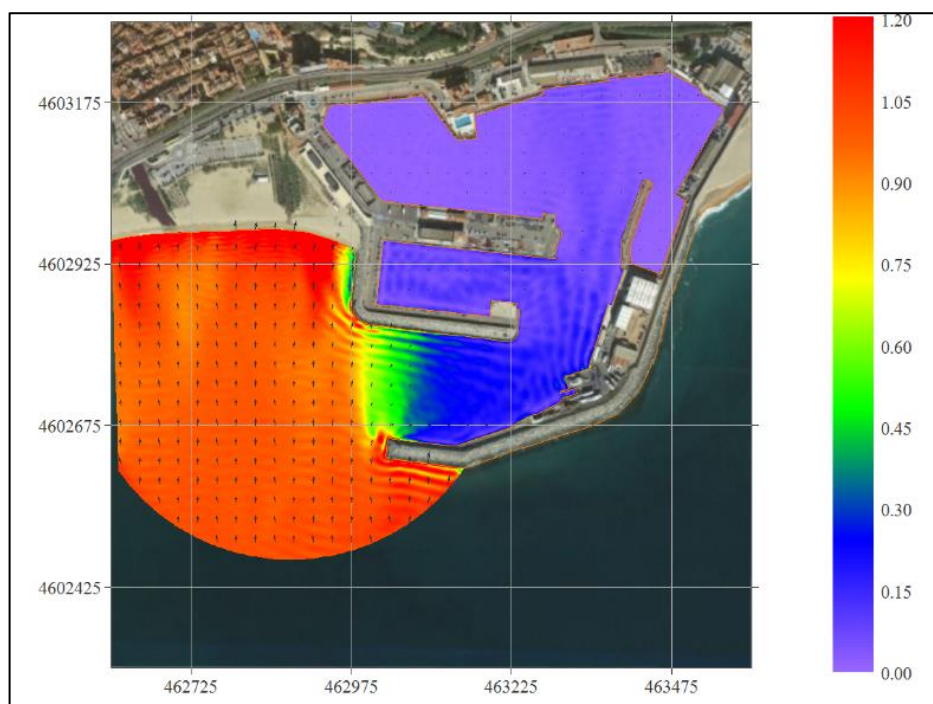


Figura 8. Gráfico de propagación de oleaje S para $H= 1$ m, T_p 5 s. Fuente: “*PROJECTE DE REFORÇ DEL DIC DE RECER DEL PORT D’ARENYS DE MAR*”

2.2.3. Nivel de agua

La siguiente figura muestra el esquema del mareógrafo de Barcelona, próximo a la zona:

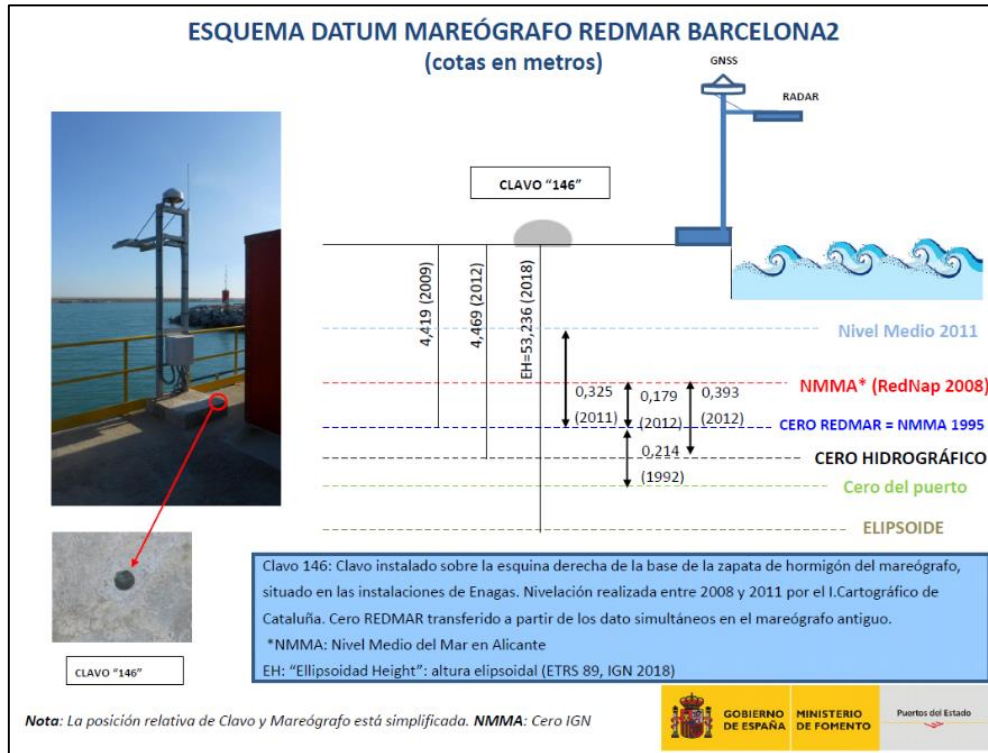


Figura 9. Mareógrafo (Fuente: PUERTOS DEL ESTADO)

Se considera un **nivel de agua de 0 m**, siendo una hipótesis conservadora.

2.2.4. Selección de escenarios

A partir de la información anterior, se seleccionan las condiciones meteorológicas de referencia para el **estudio**:

Tabla 3. Condiciones hidro-meteorológicas seleccionadas

Condición	Viento medio	Oleaje Exterior
Levante	E 15 kn	ESE, Hs=1.5 m
	E 20 kn	ESE, Hs=2.0 m
Garbí	SW 15 kn	S, Hs=1.0 m
	SW 20 kn	S, Hs=1.5 m

2.3. Embarcaciones de estudio

Se consideran las siguientes embarcaciones de estudio:

- **Pesquero de 30 metros** de eslora LOA, 7.0 metros de manga y 2.7 metros de calado.
- **Velero de 30 metros** de eslora LOA, 6.7 metros de manga y 3.2 metros de calado.

Las siguientes tablas muestran las características principales de las embarcaciones de estudio:

Tabla 4. Características principales. Pesquero 30.0 m L_{TOT}

Pesquero 30.0 m L _{TOT}	
Eslora total	30.0 m
Manga	7.0 m
Calado	2.7 m
Desplazamiento	270 t
Potencia	1 x 500 kW
Nº de propulsores	1
Velocidad de servicio	12.4 nudos
Área frontal expuesta al viento	61.0 m ²
Área lateral expuesta al viento	154.0 m ²

Tabla 5. Características principales. Velero 30.0 m L_{TOT}

Velero 30.0 m L _{TOT}	
Eslora total	30.0 m
Manga	6.7 m
Calado	3.2 m
Desplazamiento	110 t
Potencia	1 x 220 kW
Nº de propulsores	1
Velocidad de servicio	11.0 nudos
Área frontal expuesta al viento	20.5 m ²
Área lateral expuesta al viento	89.8 m ²

En el **Anejo II** se incluye información adicional sobre las cualidades de maniobra de las embarcaciones de estudio, incluyendo datos de los círculos de evolución y maniobras de parada.

3. Estudio con modelo numérico SHIPMA

3.1. Introducción

Se analizan las **maniobras de entrada y salida** de las embarcaciones de estudio tanto para el estado actual del puerto como para el puerto futuro tras el proyecto de rehabilitación y mejora del dique de abrigo.

En este sentido, se analiza la **viabilidad náutica** de las maniobras bajo las condiciones seleccionadas, así como el **espacio navegable requerido** para realizarlas en condiciones de seguridad.

3.2. Metodología

A continuación, se presenta la metodología empleada para llevar a cabo el estudio de maniobras y determinar los espacios navegables requeridos para el buque en navegación, mediante el uso de un modelo de autopiloto “*fast-time*”, como **SHIPMA**. Esta metodología considera las siguientes fases:

- ▶ **Planteamiento y ejecución de las maniobras** empleando el modelo numérico de autopiloto “SHIPMA”. Es un modelo numérico de maniobra determinista que considera el comportamiento dinámico del buque y las condiciones oceanográficas que actúan sobre él. No considera elementos de factor humano tales como errores de posicionamiento, tiempos por respuesta, márgenes de seguridad, ...
- ▶ **Evaluación y valoración de las maniobras** realizadas desde un **punto de vista náutico**. Para ello se tiene en cuenta el nivel de uso de los medios propios del buque y de los medios auxiliares (remolcadores), y distintas variables como velocidad, abatimiento, ángulo de deriva, ... Como resultado, se determina la viabilidad náutica de las maniobras planteadas.
- ▶ **Evaluación del área de navegación requerida**. En primer lugar, se determina el área de navegación requerida en cada maniobra realizada. Esta área se obtiene añadiendo sobreanchos adicionales a la envolvente de cada maniobra, obtenidos según recomendaciones españolas e internacionales tales como ROM y PIANC, que no están incluidos en los modelos de maniobra de autopiloto “*fast-time*”. Estos sobreanchos cubren los errores de posicionamiento y tiempo de respuesta, así como márgenes de seguridad. Finalmente, se evalúan el área de navegación requerida y las posibles interferencias que pueda presentar con buques, estructuras portuarias o áreas de varada.

3.2.1. Planteamiento y ejecución de las maniobras

El **modelo numérico SHIPMA** simula el comportamiento de un barco. El modelo matemático calcula la trayectoria y el rumbo del buque teniendo en cuenta la influencia del viento, corriente, oleaje, profundidad y efectos de succión. El control de la máquina, del timón y de los remolcadores se lleva a cabo con un autopiloto de seguimiento de trayectoria que anticipa las desviaciones sobre la trayectoria deseada. Los algoritmos de control incluyen también las hélices de maniobra de proa y popa, en caso de disponer las mismas.

SHIPMA se aplica principalmente en diseño portuario y de vías de navegación, tanto para canales de aproximación como para navegación fluvial. De acuerdo con las recomendaciones ROM y PIANC, el buque ha de navegar siguiendo un canal estimado previamente mediante la metodología descrita en dichas recomendaciones. Este modelo matemático permite obtener una primera valoración de las distintas alternativas y restricciones o interferencias de los buques, infraestructuras portuarias, y condiciones hidro-meteorológicas. A partir de los resultados obtenidos, se pueden plantear modificaciones sobre el diseño de las áreas de navegación (canal de navegación, dársena de reviro, terminal, ...), en caso de ser necesarias, y proponer límites de acceso del buque referidos a las condiciones hidro-meteorológicas. Se recomienda que, en fases de diseño más detalladas, el uso de SHIPMA venga sucedido de un estudio con simulador de maniobras en tiempo real que permite obtener resultados más precisos.

Uno de los factores clave en el uso de SHIPMA es la **definición de la trayectoria de referencia**, dado que afecta en las acciones a tomar por el autopiloto. Otro factor importante es la elección del uso de máquina, dado que esto permite gobernar en mayor o menor medida el gobierno del buque. El autopiloto controla el timón en todo momento, por lo que el régimen de máquina y el control de los remolcadores deben adecuarse a las circunstancias de manera que el buque navega de manera controlada.

La definición de la trayectoria de referencia o trayectoria deseada, junto con la **estrategia de maniobra a seguir**, no es un proceso previamente establecido, sino que es resultado de un proceso de ajuste iterativo (definición, ejecución, análisis de resultados y mejora) que conducen al **resultado óptimo de maniobra**.

En el **Anejo III** se describe de forma detallada la herramienta de simulación utilizada.

3.2.2. Evaluación y valoración de las maniobras

Tras llevar a cabo las simulaciones, se dispone de herramientas informáticas que permiten analizar y evaluar las distintas maniobras:

- ▶ **Gráficos de trayectoria:** con el contorno del puerto, batimetría y la posición del buque a intervalos de un minuto.
- ▶ **Serie temporales de diferentes variables** (velocidad, máquina, timón, rumbo, velocidad de guiñada, componentes de la velocidad, intensidad y dirección del viento, altura significativa y dirección de oleaje).

En el **Anejo IV** se presentan los gráficos de trayectoria y de series temporales.

Toda esta información numérica y gráfica resulta muy útil para evaluar la viabilidad náutica de cada maniobra. Los principales criterios de evaluación, junto con la posición y rumbo del buque en cada momento, son la velocidad, deriva y abatimiento, el uso de la máquina, el timón y los medios auxiliares de maniobra, y las distancias a estructuras portuarias, buques o zonas de varada.

3.2.3. Evaluación del área de navegación requerida

PIANC (International Navigation Association) en su informe “Harbour Approach Channels. Design Guidelines” (2014), así como el informe de Puertos del Estado (**ROM 3.1-99**), “Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Áreas de Flotación”, aceptado por PIANC, establecen los **requerimientos en planta de las áreas de navegación y maniobra**.

El **procedimiento** a seguir en la metodología del diseño conceptual, de acuerdo con las recomendaciones españolas e internacionales, para determinar los requerimientos horizontales de los canales y vías de navegación es el siguiente:

- ▶ Calcular el **área ocupada** por el buque, que depende tanto del buque como de los factores externos que afectan a su maniobrabilidad.
- ▶ Calcular los anchos adicionales debido a **errores de posicionamiento y tiempo de respuesta**, basados en las propias características del buque y de la vía de navegación (configuración y señalización).
- ▶ Calcular los anchos adicionales por **márgenes de seguridad**.

En base a las características principales de los buques de estudio y a la estrategia de maniobra empleada, se obtienen tanto los requerimientos del área de maniobra como los márgenes adicionales. El área de navegación requerida se determinará, por lo tanto, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- El tamaño, dimensiones y características de **maniobrabilidad de los buques y los factores relacionados con el mismo**. Este factor se obtiene, por tanto, del modelo numérico de autopiloto “fast-time” SHIPMA.
- El **posicionamiento del buque**, dependiendo de las características de la maniobrabilidad del buque y de las ayudas a la navegación disponibles, incluyendo los factores que afectan a su precisión y fiabilidad, así como el tiempo de respuesta.
- Los **márgenes de seguridad** para evitar la varada o la colisión con los límites del puerto o con estructuras, en función de las características del fondo.

La obtención de los dos últimos factores varía ligeramente en función de la documentación considerada, el informe 121 de PIANC o el informe 3.1-99 de ROM. En el presente informe se emplea la metodología descrita por ROM. El **Anejo V** incluye una descripción de dicha **metodología**.

Los **espacios de navegación segura** obtenidos por medio de esta metodología, para cada maniobra realizada, también se muestran en el **Anejo V**.

3.3. Casos analizados

Teniendo en cuenta los **objetivos y alcance del estudio** se analizan un **total de 16 maniobras de tránsito por la bocana**, combinando entradas y salidas de las embarcaciones de estudio tanto en la planta actual, como en la planta futura del puerto bajo diversas condiciones meteorológicas. Las siguientes tablas muestran las maniobras realizadas:

Tabla 6. Matriz de simulación para el pesquero

Embarcación	Configuración	Maniobra	Viento	Oleaje exterior	Nº Run
Pesquero 30.0 x 7.0 x 2.7 m	Actual	Entrada*	E 20 kn	ESE, Hs=2.0 m	1
		Salida			2
		Entrada	SW 20 kn	S, Hs=1.5 m	3
		Salida			4
	Futuro	Entrada	E 20 kn	ESE, Hs=2.0 m	5
		Salida			6
		Entrada	SW 20 kn	S, Hs=1.5 m	7
		Salida			8

Tabla 7. Matriz de simulación para el velero.

Embarcación	Configuración	Maniobra	Viento	Oleaje exterior	Nº Run
Velero 30.0 x 6.7 x 3.2 m	Actual	Entrada	E 15 kn	ESE, Hs=1.5 m	9
		Salida			10
		Entrada	SW 15 kn	S, Hs=1.0 m	11
		Salida			12
	Futuro	Entrada	E 15 kn	ESE, Hs=1.5 m	13
		Salida			14
		Entrada	SW 15 kn	S, Hs=1.0 m	15
		Salida			16

Es conveniente destacar algunos aspectos:

- ▶ Las maniobras se centran en el **tránsito de las embarcaciones entre la bocana y la zona interior del puerto**, sin incluir la fase de atraque/ desatraque o de reviro.
- ▶ Las maniobras de **entrada** comienzan con la aproximación al puerto, desde aproximadamente 1 milla náutica de la bocana con una velocidad aproximada de 8 kn, y terminan con la embarcación en el interior cuando ha sobrepasado el extremo del dique de Poniente, con rumbo Norte y se encuentra controlado a baja velocidad, para a continuación, entrar a la dársena con la ayuda de medios externos.
- ▶ Las maniobras de **salida** comienzan con la embarcación en el interior del puerto, situada en el canal a muy baja velocidad posicionado fuera de la dársena con rumbo Sur.
- ▶ Durante las maniobras, se ha tenido como **premisa intentar mantener distancia segura tanto a la zona norte de la bocana (dique de Poniente) como a la zona Sur (dique de Levante)**, intentado minimizar la ocupación de espacios en las maniobras.
- ▶ Se considera que las maniobras del pesquero se realizan con unas condiciones más elevadas que las maniobras del velero, cuyas condiciones no son tan exigentes.
- ▶ Las maniobras se han realizado sin la asistencia de remolcadores.

3.4. Descripción y evaluación de las maniobras

A continuación, se presenta una descripción general de las maniobras de entrada y salida.

3.4.1. Maniobras de entrada

En las maniobras de entrada en la planta actual, las embarcaciones inician la aproximación a puerto a una distancia aproximada de una milla náutica de la bocana, navegando a una velocidad de unos 8 nudos y con un rumbo aproximado de 10°. Durante esta primera fase, la embarcación mantiene rumbo constante y velocidad suficiente para asegurar el gobierno.

Bajo condiciones de viento del E y oleaje del ESE, estos agentes actúan sobre el costado de estribor, generando un abatimiento hacia babor durante la aproximación, efecto que se compensa mediante el uso combinado de máquina y timón. El oleaje del S incide aproximadamente alineado con la popa, presentando una influencia limitada en esta fase inicial. No obstante, a medida que la embarcación reduce velocidad e inicia el giro para acceder a puerto, su efecto se suma al del viento del SW, incrementando ligeramente la exigencia de control.

A una distancia prudente del dique de abrigo, la embarcación comienza una reducción progresiva de velocidad e inicia una caída controlada a estribor con el fin de alinearse con la bocana del puerto. Una vez completado el giro, y con una velocidad aproximada de 3 nudos, la embarcación accede por la bocana manteniéndose centrado y con el rumbo deseado. En esta zona se procura conservar una distancia adecuada tanto al dique de Levante (al Sur) como al dique de Poniente (al Norte).

Poco antes de alcanzar el final del dique de Poniente, la embarcación efectúa un giro a babor, manteniéndose centrado y a distancia de la zona de menor profundidad, hasta alcanzar un rumbo Norte. A continuación, se continúa con la reducción de velocidad, hasta aproximadamente 1 nudo, para proceder a la entrada en la dársena interior con el apoyo de medios externos, si procede.

En condiciones de viento del E, el viento ayuda al giro a estribor durante el acceso al puerto, mientras que durante el tránsito por la bocana incide por la proa de la embarcación sin aumentar la dificultad en mantener una distancia de seguridad al dique de abrigo. Por su parte, el viento del SW, que afecta por popa durante la aproximación, posteriormente, durante el acceso por la bocana incide por la aleta de estribor incrementando la exigencia de la maniobra para mantenerse centrado en el espacio.

Una vez la embarcación ha sobrepasado el extremo de dique de Levante y navega por la bocana, el oleaje apenas tiene efecto en la maniobra debido a la protección que ofrece al oleaje ESE y S.

Las entradas de las dos embarcaciones en las condiciones evaluadas se consideran que se realizan con un nivel de control adecuado.



Figura 10. Configuración Actual. Entrada del velero.
Viento: SW 15 kn. Oleaje: S $H_s=1.0$ m. Run N°: 11

La estrategia de entrada en la **configuración futura** es similar a la maniobra en la planta actual, hasta alcanzar la bocana. A partir de este punto, se observa un uso más activo del timón, con correcciones alternas para mantener una distancia de seguridad adecuada respecto a los diques, especialmente bajo condiciones de viento del SW, que incide por la aleta de estribor e incrementa la exigencia para mantener el rumbo. Para anticipar este efecto y mantenerse a distancias de ambos diques, se opta por una **trayectoria más al norte respecto a la configuración actual** durante el acceso, con un primer giro algo más cerrado, asegurando así mantener distancia tanto a dique de Poniente como al contradique y la zona de los nuevos atraques interiores proyectados, y mantener la embarcación centrada en el espacio disponible.

Desde el punto de vista del gobierno de la embarcación, los ángulos máximos de timón requeridos en la configuración futura son similares a los de la configuración actual. Si bien se concentran de forma más clara en el tramo del giro a estribor para cruzar la bocana, al ser un giro algo más pronunciado. No se observan incrementos significativos en la

exigencia de máquina ni situaciones de control forzado. Los ángulos máximos de timón y los regímenes de máquina requeridos se mantienen dentro de rangos razonables para este tipo de maniobras, sin suponer un incremento significativo de la exigencia operativa.

En consecuencia, se considera que la maniobra de entrada de las embarcaciones analizadas con la configuración futura también es viable en las condiciones de viento y oleaje analizadas, navegando centrado en el espacio disponible

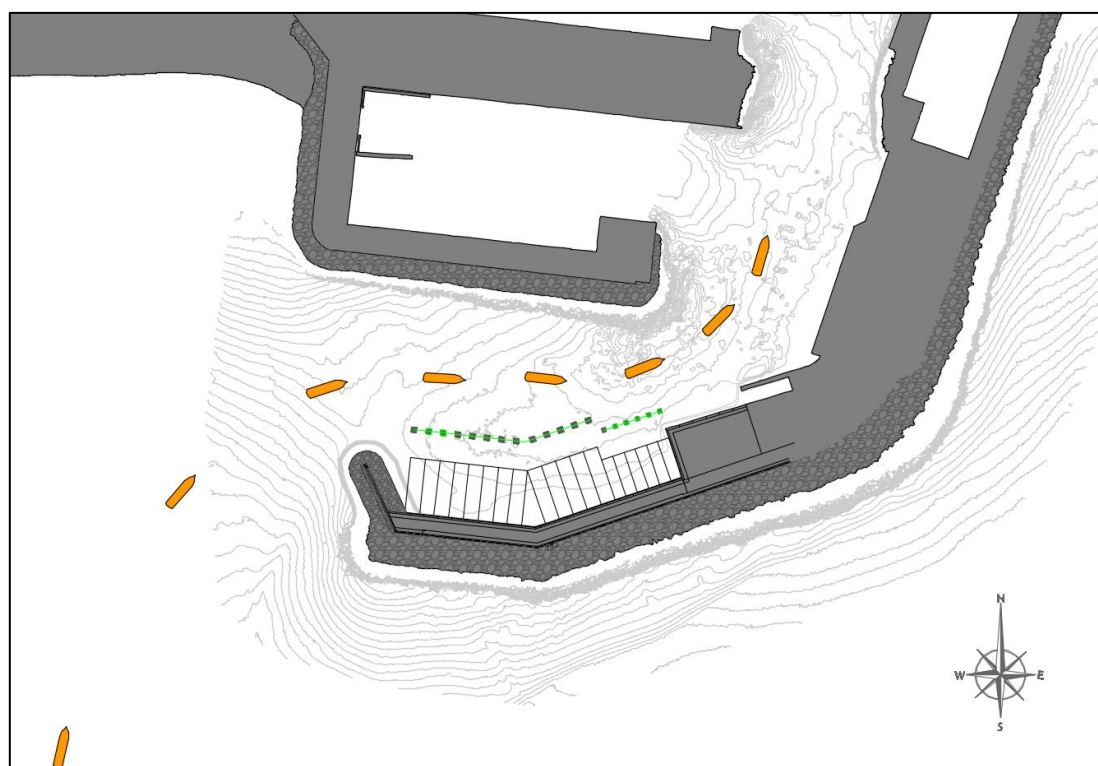


Figura 11. Configuración Futura. Entrada del velero.
Viento: SW 15 kn. Oleaje: S $H_s=1.0$ m. Run N°: 15

3.4.2. Maniobras de salida

La maniobra de salida comienza con la embarcación situada en el interior del puerto, fuera de las dársenas, navegando a baja velocidad, inferior a 1 nudo, y centrada en el canal de acceso con rumbo Sur.

En la configuración actual, la embarcación comienza una caída a estribor e incrementa gradualmente el régimen de máquina, alcanzando velocidades del orden de 2 a 3 nudos en su tránsito por el interior en dirección hacia la bocana manteniéndose centrada y a distancia respecto a los diques y a las zonas de menor profundidad asociadas a los taludes de los diques de abrigo, requiriéndose un control activo del timón para compensar el efecto del viento. En condiciones de viento del E, este incide principalmente por la aleta de babor en el tránsito hacia la bocana cuando navega frente a la parte interior del dique de Levante,

mientras que, en condiciones de viento del SW, el viento actúa por la amura de babor algo atravesado, incrementando la exigencia de control para conservar la posición y una separación adecuada respecto a los diques.

Poco antes del paso por la bocana, y rebasar el extremo del dique de Levante, la embarcación inicia una caída progresiva a babor para salir del puerto y navegar hacia aguas abiertas, aumentando la velocidad para compensar el efecto del oleaje que comienza a hacer efecto una vez se pasa la bocana.

En conjunto, la maniobra de salida en la configuración actual se caracteriza por una transición progresiva desde condiciones de abrigo a mar abierto, manteniéndose centrada en el espacio disponible manteniéndose a distancia de estructuras y zonas de baja profundidad.



Figura 12. Configuración Actual. Salida del pesquero.
Viento: SW 20 kn. Oleaje: S $H_s=1.5$ m. Run N°: 4

En la **configuración futura del Puerto de Arenys de Mar**, la maniobra de salida se inicia desde el mismo punto y mismas condiciones que la salida en la configuración actual: con la embarcación en el interior del puerto, fuera de las dársenas, y navegando a **baja velocidad**, centrada en el canal interior. La estrategia de salida es similar a la descrita para la planta actual, en términos de velocidades. Si bien, la trayectoria de salida requiere un giro inicial algo más cerrado (para adoptar un rumbo más próximo a 270) y posicionarse centrado

en canal con el objetivo de alejarse de las embarcaciones atracadas en la zona interior del dique, y del nuevo contradique del dique de Levante.

Los ángulos de timón requeridos se mantienen dentro de rangos habituales para este tipo de maniobra, sin suponer un incremento significativo de la exigencia operativa. Durante el tránsito por la bocana, la embarcación mantiene una velocidad controlada entre 2 y 3.5 kn, considerando que es una zona con embarcaciones atracadas en la zona interior del dique de Levante. Comienza a incrementar progresivamente el régimen de máquina, una vez se llega el extremo del dique de Levante, para una vez está en agua abierta compensar el efecto del viento y el oleaje.

En conjunto, la maniobra de salida en la configuración futura se desarrolla de forma **controlada y segura**, haciendo el tránsito centrado en el espacio disponible, y manteniéndose a distancia de las estructuras, buques atracados y zonas de baja profundidad. En consecuencia, se considera que la **maniobra de salida de las embarcaciones analizadas en la configuración futura resulta viable en las condiciones analizadas** siendo las actuaciones proyectadas compatibles con la operativa portuaria.

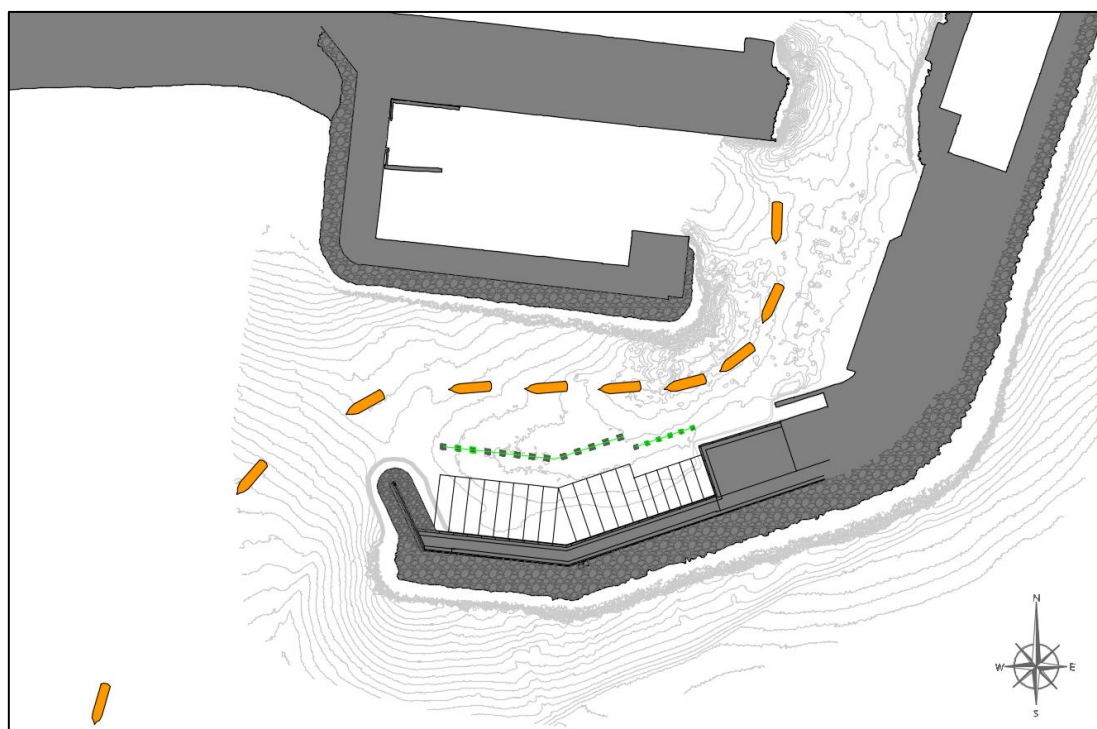


Figura 13. Configuración Futura. Salida del pesquero.
Viento: SW 20 kn. Oleaje: S $H_s=1.5$ m. Run N°: 8

3.5. Evaluación del área de navegación requerida

Una vez completadas las maniobras, y evaluada su viabilidad, se valora el **espacio de maniobra disponible** para acceder al interior del puerto para las dos configuraciones analizadas (actual y futura).

Para ello se estima el **área de navegación requerida** para permitir el acceso y salida de las embarcaciones de estudio en condiciones de **seguridad**, bajo las condiciones meteorológicas analizadas y siguiendo la estrategia de maniobra planteada.

Se muestran a continuación, de manera desglosada, los **criterios** considerados y los **sobreanchos** correspondientes en las distintas áreas de maniobra; para ellos se ha dividido las maniobras en los siguientes tramos:

Tabla 8. Tramos considerados para el cálculo de las áreas de navegación

Descripción del tramo
Recto avante en aguas abiertas
Curvo avante en aguas abiertas
Recto avante en el interior del puerto
Curvo avante en el interior del puerto

- ▶ Para estimar el **error de posicionamiento (b_e)** se ha considerado que la ejecución de las maniobras se hará siempre con “Capitán experimentado en el emplazamiento” y con un “posicionamiento visual entre alineaciones de boyas o balizas que marquen los límites de la vía”. Con estos criterios, la **ROM** recomienda considerar un error de posicionamiento a cada banda de **10 m**.
- ▶ Se ha supuesto una **imprecisión nula de la señalización y balizamiento (b_b)**, puesto que la zona de navegación y maniobra se encuentra en una zona con estructuras fijas que permiten el posicionamiento, y no se aplica este criterio
- ▶ Para estimar el **sobreancho por tiempo de respuesta (b_r y b_{rc})** desde que se detecta la desviación del buque hasta que la corrección es efectiva se emplea la siguiente expresión: $b_r = (1.5 - E_{max}) \cdot b_{ro}$, donde:
 - ▶ Se toma diferentes valores del riesgo admisible para los buques de estudio, en todos los tramos se considera riesgo de iniciación de averías con repercusión económica media, tanto como para el pesquero como el velero se considera posibilidad de pérdidas humanas reducida ($E_{max} = 0.3$)
 - ▶ Para determinar el sobreancho por tiempo de respuesta, b_{ro} , se considera una maniobrabilidad media en navegación avante para todas las embarcaciones

de estudio. Asimismo, se considera un $h/T \geq 1.5$ para todos los tramos de las maniobras. Para $h/T \geq 1.5$, los valores considerados son $0.15 \cdot B$ para maniobrabilidad media.

- ▶ En los tramos curvos este sobreancho (b_r) se incrementa una cantidad b_{rc} para considerar la dificultad de las maniobras por el retardo de la respuesta del buque, siendo $b_{rc} = 0.4 \cdot (1.5 - E_{max}) \cdot B$ cuando el tramo curvo es avante (maniobrabilidad media).
- ▶ Para estimar el **sobreancho sobre el margen de seguridad (rhsm)** que deberá quedar siempre disponible:
 - ▶ Se asumen **taludes tendidos** durante todas las fases, que **no existen efectos de succión** a lo largo de la trayectoria de los buques, y que estos **navegan a menos de 8 nudos**. Así el resguardo adicional por **margen de seguridad** son $0.1 \cdot B$. En aquellas zonas donde existe una estructura próxima, como en el caso del interior del puerto una vez se llega a la bocana, se considera margen estructural y se aplica un valor de $0.2B$ de resguardo adicional por **margen de seguridad**.
 - ▶ En la futura configuración del puerto durante la navegación por la bocana con embarcaciones atracadas en la zona interior del dique de Levante se considera un Margen de seguridad por tránsito con buques atracados, considerando este margen de seguridad al dique flotante con un valor equivalente a la manga máxima del buque que navega, es decir $1 \cdot B$.

Los **valores** de los **sobreanchos** definidos en cada tramo de las maniobras de entrada y salida se resumen en las siguientes tablas. Dichos sobreanchos se suman a cada banda.

Tabla 9. Sobreanchos y márgenes de seguridad. Pesquero.

SOBREANCHO	Tramo	Pesquero
Tiempo de respuesta ($b_r + b_{rc}$) + Errores de posicionamiento (b_e)	Recto Avante	11.3 m
	Curvo Avante	14.6 m
Resguardo adicional y Margen de seguridad ($rhsm + rhsm$)	Avante/ atrás con taludes tendidos (aproximación)	0.7 m
	Avante/atrás con márgenes estructurales (interior)	1.4 m
	Barcos atracados	7.0 m

Tabla 10. Sobreanchos y márgenes de seguridad. Velero

SOBREANCHO	Tramo	Velero
Tiempo de respuesta (br + brc) + Errores de posicionamiento (be)	Recto Avante	11.2 m
	Curvo Avante	14.4 m
Resguardo adicional y Margen de seguridad (rhsm + rbsd)	Avante/ atrás con taludes tendidos (aproximación)	0.67 m
	Avante/atrás con márgenes estructurales (interior)	1.34 m
	Barcos atracados	6.7 m

Para cada maniobra se obtiene el área ocupada por la embarcación (envolvente de maniobra). Sobre esta envolvente se añaden los sobreanchos calculados, resultando el **espacio navegable necesario** que **garantiza el tránsito** de las embarcaciones de estudio bajo las condiciones analizadas. Este espacio está ligado a la realización de las maniobras bajo las estrategias analizadas, condiciones meteorológicas estudiadas y al uso de medios de maniobra similares.

Se han realizado **áreas conjuntas** correspondientes a las maniobras de entrada y de salida para cada embarcación y para cada configuración del puerto por tener estrategias similares.

En el **Anejo V** se recogen los gráficos de dimensionamiento de los espacios navegables de cada grupo de maniobras (ABA-*nº* "X"). En ellos se presenta la **envolvente** del espacio ocupado por los barcos (sombreado naranja), el **sobreancho** por error de **posicionamiento** y tiempo de respuesta (sombreado verde) y el **sobreancho** por resguardo adicional y **margen de seguridad** (sombreado rojo).

Adicionalmente, teniendo en cuenta los calados analizados se evalúa la **profundidad mínima** que garantice el acceso seguro de las embarcaciones de estudio al calado analizado. Según el apartado **7.2.6 de la ROM 3.1-99**, donde se recogen valores empíricos de uso habitual, en zonas de maniobra y atraques abrigados se debe garantizar una profundidad mínima de 1.08 veces el calado del buque. Además, se añade un margen por factores relacionados con el fondo (H3), para incluir las imprecisiones de la batimetría, de valor 0.1 m (apartado **7.2.5.1**). La siguiente tabla muestra la profundidad mínima necesaria para para el calado analizado de las embarcaciones de estudio:

Tabla 11. Profundidad mínima necesaria

Embarcaciones	Profundidad mínima necesaria en la zona de maniobra y atraque (H1 + H3)
Pesquero, T= 2.7 m	≈ 3.0 m
Velero, T=3.2 m	≈3.5 m

En relación con las profundidades mínimas necesarias anteriormente indicadas, y con el fin de verificar gráficamente el **espacio navegable necesario**, en las figuras que se presentan a continuación se acotan los espacios a las batimetrías correspondientes a la cota -4.00 m. Dicha cota resulta superior a la profundidad mínima requerida para las embarcaciones de estudio.

3.5.1. Evaluación de resultados y conclusiones

A partir de los **gráficos de espacio navegable necesario** de acuerdo con los criterios ROM (figuras ABA) de cada maniobra realizada, se valora el **espacio en planta requerido** y las posibles interferencias con estructuras existentes y zonas de baja profundidad. Las siguientes tablas recogen los índices de las figuras:

Tabla 12. Espacios de navegación obtenidos de las maniobras del pesquero.

Barco	Estado	Maniobra	Viento	Oleaje exterior	Nº Run	Nº ABA
Pesquero 30.0 x 7.0 x 2.7 m	Actual	Entrada	E 20 kn	ESE, Hs=2.0 m	1	ABA-1
			SW 20 kn	S, Hs=1.5 m	3	
		Salida	E 20 kn	ESE, Hs=2.0 m	2	ABA-2
			SW 20 kn	S, Hs=1.5 m	4	
	Futuro	Entrada	E 20 kn	ESE, Hs=2.0 m	5	ABA-3
			SW 20 kn	S, Hs=1.5 m	7	
		Salida	E 20 kn	ESE, Hs=2.0 m	6	ABA-4
			SW 20 kn	S, Hs=1.5 m	8	

Tabla 13. Espacios de navegación obtenidos de las maniobras del velero.

Barco	Estado	Maniobra	Viento	Oleaje exterior	Nº Run	Nº ABA
Velero 30.0 x 6.7 x 3.2 m	Actual	Entrada	E 15 kn	ESE, Hs=1.5 m	9	ABA-5
			SW 15 kn	S, Hs=1.0 m	11	
		Salida	E 15 kn	ESE, Hs=1.5 m	10	ABA-6
			SW 15 kn	S, Hs=1.0 m	12	
	Futuro	Entrada	E 15 kn	ESE, Hs=1.5 m	13	ABA-7
			SW 15 kn	S, Hs=1.0 m	15	
		Salida	E 15 kn	ESE, Hs=1.5 m	14	ABA-8
			SW 15 kn	S, Hs=1.0 m	16	

3.5.1.1. Aproximación y salida del puerto

El exterior del puerto de Arenys de Mar dispone de un amplio espacio de navegación para la aproximación y la salida de puerto, y resulta suficiente para las embarcaciones de estudio, siendo la profundidad en esta fase suficiente. No existen interferencias en esta fase de las maniobras para ninguna de las embarcaciones de estudio.

Por este motivo, la evaluación detallada de los espacios navegables seguros se centra en la zona interior (entre la bocana y la zona interior del puerto).

3.5.1.2. Maniobras de entrada

A continuación, se muestran las figuras con los **espacios de navegación segura** obtenidos de cada grupo de maniobras de entrada realizadas con el pesquero y el velero según la configuración del puerto. Además, se acotan los márgenes adicionales a las batimétricas de -4.0 m, y límite de la zona de atraque de nuevas embarcaciones:

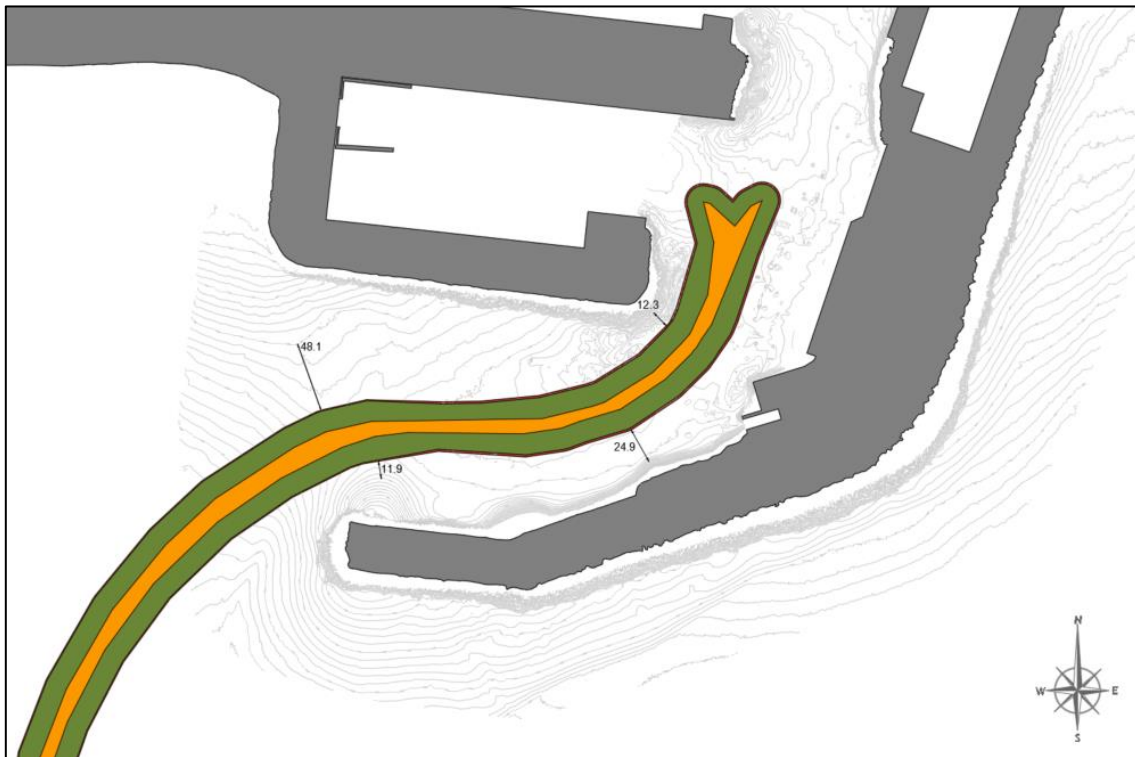


Figura 14. Espacio navegable seguro. Pesquero.
Entrada configuración actual. ABA-1.

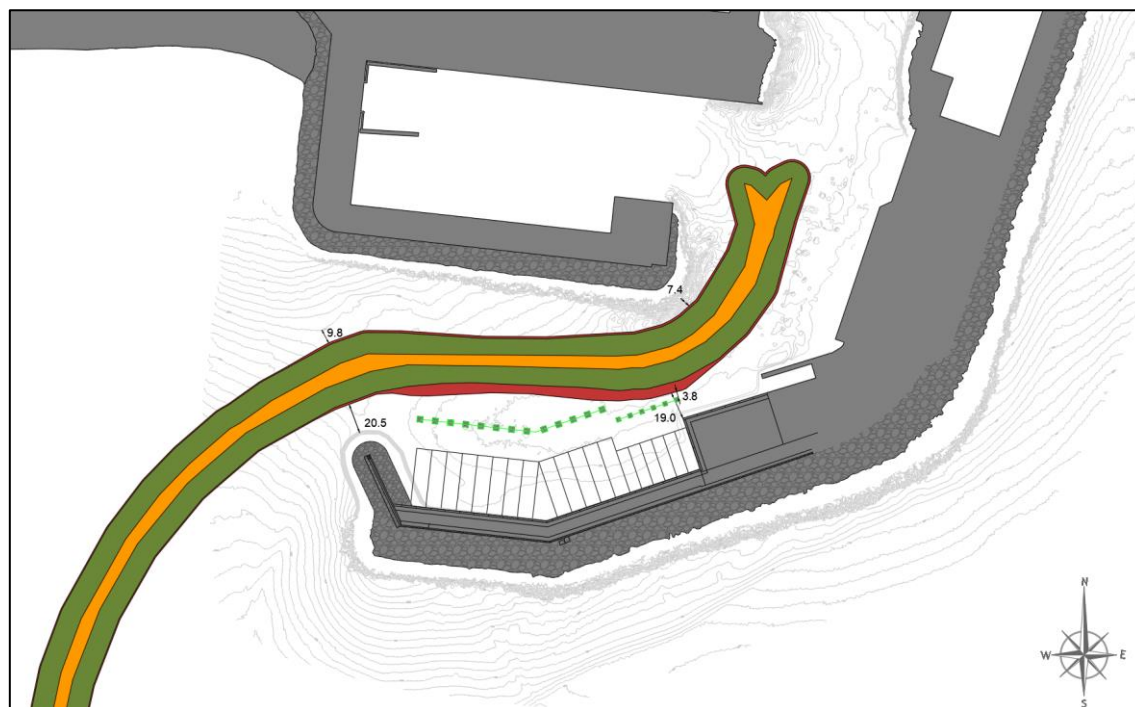


Figura 15. Espacio navegable seguro. Pesquero.
Entrada configuración futura. ABA-3.



Figura 16. Espacio navegable seguro. Velero.
Entrada configuración actual. ABA-5.

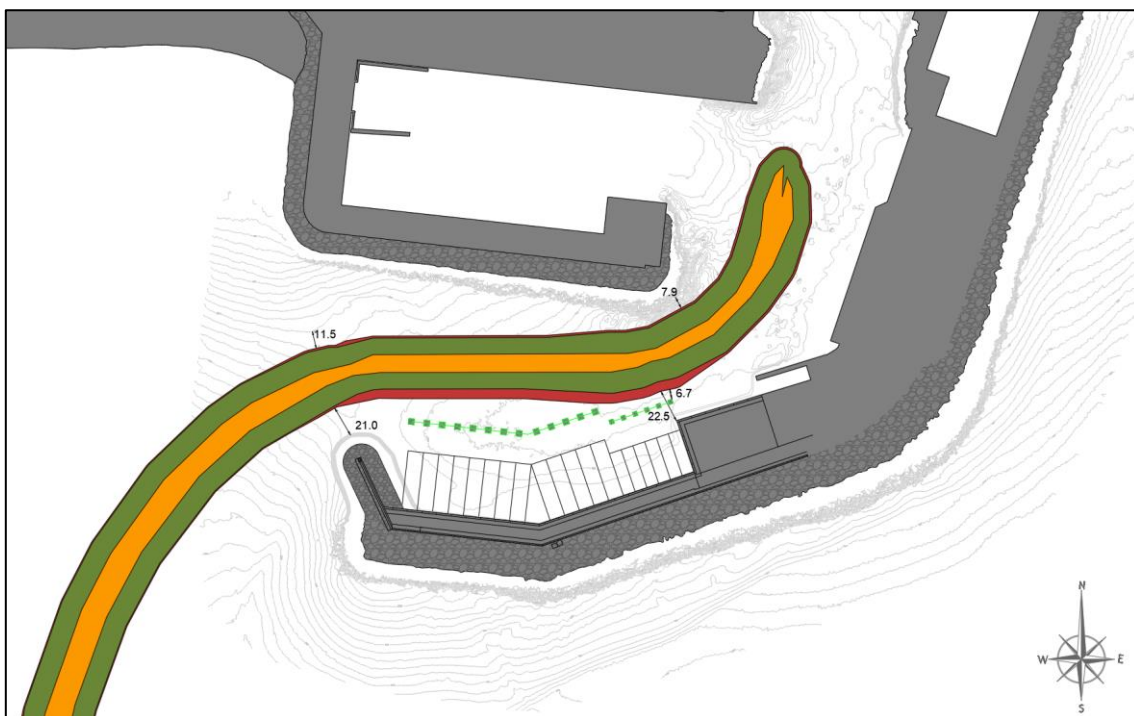


Figura 17. Espacio navegable seguro. Velero.
Entrada configuración futura. ABA-7.

La siguiente tabla recoge los márgenes adicionales a puntos singulares:

Tabla 14. Márgenes adicionales. Maniobras de entrada.

Estructuras	Margen adicional (m)			
	Pesquero 30 m		Velero 30 m	
	Configuración actual	Configuración futura	Configuración actual	Configuración futura
Batimétrica -4 m extremo dique Levante	11.9	20.5	20.8	21.0
Batimétrica -4 m Norte en bocana	48.1	9.8	42.1	11.5
Batimétrica -4 m Norte extremo dique Poniente	12.3	7.4	11.7	7.9
Muertos de fondeo	-	3.8	-	6.7
Zona sur dique Levante	24.9	19	22.0	22.5

Evaluando los espacios de navegación segura obtenidos para las entradas del pesquero y del velero, se concluye que el espacio de maniobra disponible para la operación de estas embarcaciones es suficiente. Se mantienen márgenes seguros a las estructuras, muertos de fondeo y líneas batimétricas límites.

Cabe destacar que, en las maniobras realizadas con la **configuración futura del puerto**, la **distancia de seguridad respecto al margen norte del canal de acceso se reduce**, debido a que las trayectorias adoptadas en esta configuración se desplazan **ligeramente hacia el norte en comparación con la configuración actual**, con el objetivo de **evitar interferencias con las embarcaciones atracadas al sur** (zona de atraque y muertos de fondeo) **y el contradique en el extremo del dique de Levante**.

3.5.1.3. Maniobras de salida

A continuación, se muestran las figuras con los **espacios de navegación segura** obtenidos de cada grupo de maniobras de salida realizadas para cada embarcación y configuración de puerto. Se incluyen las cotas de márgenes adicionales a las batimétricas de -4.0 m y límite de la zona de atraque de nuevas embarcaciones:



Figura 18. Espacio navegable seguro. Pesquero.
Salida configuración actual. ABA-2.

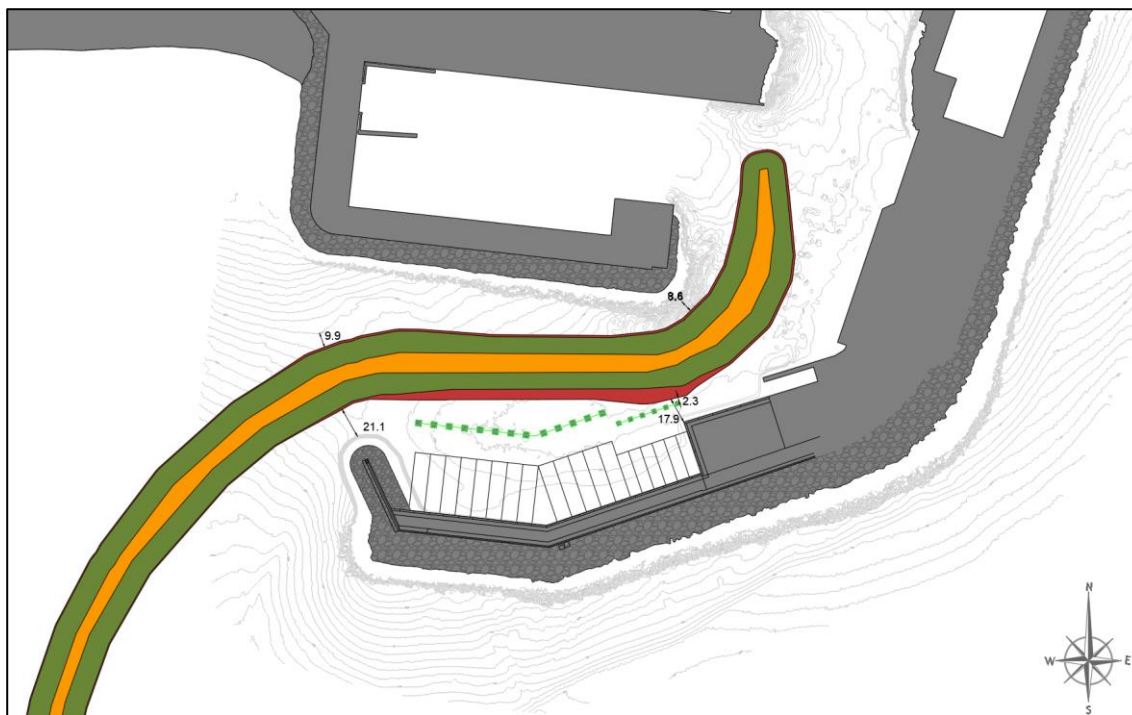


Figura 19. Espacio navegable seguro. Pesquero.
Salida configuración futura. ABA-4.



Figura 20. Espacio navegable seguro. Velero.
Salida configuración actual. ABA-6.

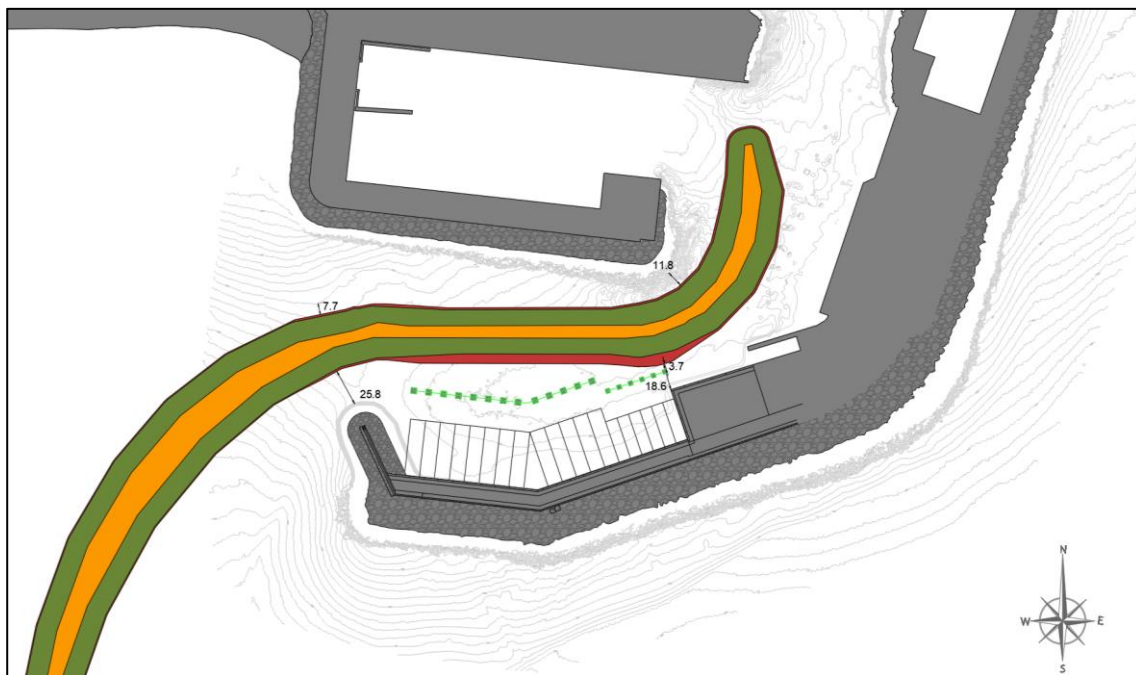


Figura 21. Espacio navegable seguro. Velero.
Salida configuración futura. ABA-8.

La siguiente tabla recoge los márgenes adicionales a puntos singulares:

Tabla 15. Márgenes adicionales. Maniobra de salida.

Estructuras	Margen adicional (m)			
	Pesquero 30 m		Velero 30 m	
	Configuración actual	Configuración futura	Configuración actual	Configuración futura
Batimétrica -4 m extremo dique Levante	19.6	21.1	17.1	25.8
Batimétrica -4 m Norte en bocana	40.6	9.9	30.6	7.7
Batimétrica -4 m Norte extremo dique Poniente	13.4	8.6	11.2	11.8
Muertos de fondeo	-	2.3	-	3.7
Zona sur dique Levante	29.5	17.9	30.1	18.6

Evaluando los espacios de navegación segura obtenidos para las maniobras del pesquero y del velero en las maniobras de salida, se concluye que el espacio de maniobra disponible para la salida de estas embarcaciones es suficiente. Se mantienen márgenes seguros a las estructuras, muertos de fondeo y líneas batimétricas límites.

Cabe destacar que, al igual que en las maniobras de entrada, en las salidas realizadas con la **configuración futura del puerto**, la **distancia de seguridad respecto al margen norte del canal de acceso se reduce**, debido a que las trayectorias adoptadas en esta configuración se desplazan **ligeramente hacia el norte en comparación con la configuración actual**, con el objetivo de **evitar interferencias con las embarcaciones atracadas al sur y el contradique en el extremo del dique de Levante**.

En las maniobras correspondientes a la **configuración futura del puerto**, se mantienen **márgenes de seguridad suficientes** tanto respecto al **contradique del dique de Levante** como a la **nueva zona destinada al atraque de embarcaciones** (zona de atraque y muertos de fondeo), sin que se produzcan interferencias durante las **maniobras de salida**.

4. Resumen y conclusiones

4.1. Resumen

A solicitud de **Enginyeria Reventós, S.L.** se ha realizado un estudio de maniobras para analizar el paso en la bocana del **Puerto de Arenys de Mar** en Barcelona, para un pesquero y un velero, ambos con una eslora total de 30m.

Se han analizado las maniobras tanto para el estado actual del puerto como para el puerto futuro tras el proyecto de rehabilitación y mejora del dique de abrigo, comparando la accesibilidad de las embarcaciones de estudio hasta e interior del puerto en base a las modificaciones previstas. El proyecto consiste en la incorporación de un espaldón en su parte final, la creación de un muelle en la parte interior y la incorporación de un nuevo tacón en la bocana, lo que reduce la lámina de agua

El **objetivo** del estudio ha sido evaluar el paso de las embarcaciones de estudio entre la bocana y el interior del puerto para las dos configuraciones y determinar el espacio de maniobra necesario, verificando si este espacio disponible es compatible con el acceso de las embarcaciones previstas por la bocana tras la futura modificación que se llevará a cabo en el dique de abrigo del puerto.

Para ello se han realizado 16 maniobras tanto para el estado actual del puerto como para el puerto futuro tras el proyecto de rehabilitación y mejora del dique de abrigo, combinando **entradas y salidas** con un **pesquero de 30 m Loa** y un **velero de 30 m**, bajo **cuatro escenarios** meteorológicos, vientos medios de **20 y 15 nudos** de dirección **E y SW**, con oleaje **ESE de Hs 2.0 y 1.5 m** y oleaje **S de Hs 1.5 y 1.0 m**, respectivamente.

Se ha utilizado el **Modelo Numérico de Maniobra de Buques con Autopiloto (SHIPMA 7.4.2)**, que reproduce el comportamiento de un buque específico durante la ejecución de las maniobras de acceso o salida de puerto, sometido a la acción de los agentes ambientales (viento, corriente, oleaje, profundidad limitada, succión de orilla, etc.). Para ello, dispone de un **piloto automático**, que desarrolla las acciones necesarias para mantener una trayectoria objetivo predefinida. Previamente, se fijan la posición y condiciones iniciales del buque, así como una serie de restricciones al uso de la máquina y remolcadores.

El desarrollo del trabajo se ha llevado a cabo apoyándose en la metodología descrita en la normativa de Puertos del Estado, **ROM 3.1-99 - “Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Áreas de Flotación”**. También se tendrá en cuenta las recomendaciones de **PIANC** (Asociación Internacional de Navegación), en su informe **Report 121 “Harbour Approach Channels. Design Guidelines” (2014)**.

4.2. Conclusiones

A partir de la valoración experta de las maniobras de tránsito de entrada y de salida por la bocana realizadas para las embarcaciones de estudio en la configuración actual y en la configuración futura del Puerto de Arenys de Mar, se pueden extraer las siguientes **valoraciones y conclusiones**:

- ▶ El **viento** se identifica como el agente hidrometeorológico con mayor influencia en las maniobras de **tránsito por la bocana**. El **oleaje**, **presenta una incidencia limitada** en la zona de acceso al puerto debido al abrigo proporcionado por el dique de Levante, tanto en la configuración actual como en la configuración futura. Si bien afecta a la navegación en el exterior, y condiciona la velocidad de llegada a la bocana durante la aproximación en las entradas.
- ▶ La estrategia de **tránsito por el interior** (entre la bocana y el acceso a las dársenas) para la entrada y la salida es similar a la planteada en la planta actual. Si bien, en las maniobras en la **configuración futura** se modifica la trayectoria tanto de entrada como de salida, y se desplaza ligeramente hacia el norte, acercándose más al dique de Poniente. El objetivo es mantener suficiente distancia a los nuevos puestos para embarcaciones (y sus correspondientes muertos de fondeo) en la zona interior del dique, y al nuevo contradique del dique de Levante, además de al dique de Poniente, y evitar interferencias con estos. La modificación de la trayectoria implica giros algo más cerrados en el paso por la bocana y a la altura del extremo del dique de Poniente.
- ▶ En las maniobras de **entrada de ambas embarcaciones**, los ángulos máximos de timón y los regímenes de máquina requeridos en la **configuración futura** son **similares** a los utilizados en las maniobras de la **configuración actual**, concentrándose las mayores exigencias de timón en el tramo del giro a estribor para pasar por la bocana y acceder al interior, evitando el extremo del nuevo contradique. No se observan situaciones de control forzado ni incrementos significativos de la exigencia operativa.
- ▶ En las maniobras de **salida de ambas embarcaciones**, y al igual que en las entradas, el uso de máquina y timón son similares en ambas configuraciones, al igual que las velocidades de tránsito entre la dársena y la bocana. Si bien, se observa un **mayor uso puntual de timón durante el giro a babor tras la bocana**, asociado a un giro más cerrado para mantener distancia segura respecto al extremo del nuevo contradique del dique de Levante, resultando compatible con una maniobra controlada.
- ▶ Por lo tanto, las maniobras analizadas del **pesquero de 30 m de eslora** y el **velero de 30 m de eslora** resultan **viabiles desde el punto de vista náutico**, tanto en la situación actual del puerto como en la configuración futura tras la actuación

proyectada en el dique de levante, bajo las condiciones hidrometeorológicas consideradas en el estudio.

- ▶ El análisis de los espacios de navegación segura, realizado conforme a la metodología de la **ROM 3.1-99**, confirma que el **espacio disponible en planta es suficiente** para la ejecución de las maniobras de tránsito de entrada y de salida de las embarcaciones de estudio, tanto en la configuración actual como en la configuración futura del puerto. Aunque el desplazamiento de la trayectoria hacia el norte para la configuración futura reduce los márgenes al dique de Poniente, **se mantienen dentro de valores seguros**.
- ▶ Igualmente, las profundidades disponibles en la zona de tránsito resultan **suficientes para los calados de las embarcaciones analizadas**.
- ▶ En conjunto, los resultados obtenidos indican que la **configuración futura del puerto es compatible con la operativa de las embarcaciones de estudio bajo el clima analizado**, manteniéndose márgenes adecuados de seguridad frente a estructuras, batimetría y embarcaciones atracadas.

4.3. Comentarios adicionales

- ▶ Cabe destacar que los resultados obtenidos están **ligados** a las condiciones del análisis: **viento y oleaje evaluado, estrategia** de maniobra, características de las embarcaciones **de estudio y configuraciones en planta**. En caso de que alguno de estos parámetros cambie, los resultados obtenidos podrían verse comprometidos y se recomendaría realizar un nuevo análisis de afecciones náuticas
- ▶ Cabe mencionar que las características de la **herramienta** utilizada (SHIPMA 7.4.2) y **metodología** aplicada (ROM) arrojan un carácter **conservador** a la hora de valorar el **espacio de maniobra** requerido. El uso de herramientas más precisas (como es el **simulador de maniobra en tiempo real**) en fases posteriores, permitiría incorporar el factor humano a las maniobras y **definir con mayor exactitud los espacios requeridos**.

Madrid, enero de 2026

Gerente de Proyecto



Ing. Lourdes Pecharromán

Director del Área de Maniobras y
Estudios Náuticos



Ing. Raúl Redondo

Director General



Ing. Aitor Acha