

Anejo nº10

Diseño de áreas de navegación y atraque

Proyecto básico de nuevos amarres en el puerto de Cullera (Valencia)

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. REQUERIMIENTOS EN ALZADO	5
2.1. PROFUNDIDAD DE AGUA DE LAS ÁREAS DE NAVEGACIÓN Y FLOTACIÓN	5
2.1.1. Factores relacionados con el buque.....	6
2.1.2. Factores relacionados con el nivel de las aguas.....	8
2.1.3. Factores relacionados con el fondo.....	9
2.1.4. Determinación de la profundidad de agua del área de navegación y flotación	9
2.2. CALADO DE LA LÍNEA DE ATRAQUE.....	9
3. REQUERIMIENTOS EN PLANTA	10
3.1. VÍAS DE NAVEGACIÓN	10
3.1.1. Anchura de las vías de navegación.....	10
3.1.2. Áreas de maniobra	13
3.2. ZONAS DE ATRAQUE.....	13

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se establecen las dimensiones que deben tener tanto los canales de navegación y flotación como las zonas de parada y estacionamiento de las embarcaciones. Con el objetivo de aprovechar de forma eficiente el espacio disponible y permitir condiciones de seguridad.

En un primer apartado, se describen las necesidades de espacio en cuanto a profundidades para las áreas de navegación y atraque. Mientras que el segundo apartado contempla las dimensiones necesarias en planta de ambas áreas y de las rampas.

Los documentos de referencia consultados para la elaboración de este anejo han sido:

- Puertos del Estado (1999) – ROM 3.1-99 "*Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos: Canales de Acceso y Áreas de Flotación*". (En adelante ROM 3.1-99).
- Puertos del Estado (2011) – ROM 2.0-11 "*Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre*". (En adelante ROM 2.0-11).
- Del Moral Carro, R y Berenguer Pérez, JM. (1980) – "*Curso de ingeniería de puertos y costas*". Ministerio de Obras públicas y Urbanismo y Centro de Estudios y Experimentación de Puertos y Costas Ramón Iribarren (Madrid). (En adelante Del Moral y Berenguer (1980)).
- Suárez Bores, P. (1968) – "*Ordenación de puertos deportivos y pesqueros*". Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid. (En adelante Suárez Bores, P. (1968)).

2. REQUERIMIENTOS EN ALZADO

El dimensionamiento en alzado de las zonas de navegación y flotación se realiza teniendo en consideración una gran cantidad de aspectos referentes a los buques y al entorno, que a continuación se detallan.

2.1. PROFUNDIDAD DE AGUA DE LAS ÁREAS DE NAVEGACIÓN Y FLOTACIÓN

La ROM 3.1-99 propone la determinación de profundidades de agua de las áreas de navegación y flotación según los siguientes factores:

- El calado de los buques, los factores relacionados con ellos y los márgenes de seguridad para prevenir el contacto del buque con el fondo (H_1).
- El nivel del agua y factores que afecten su variabilidad (H_2).
- Los relacionados con el fondo (H_3).

En la siguiente figura se muestra un esquema de los distintos factores de cada grupo.

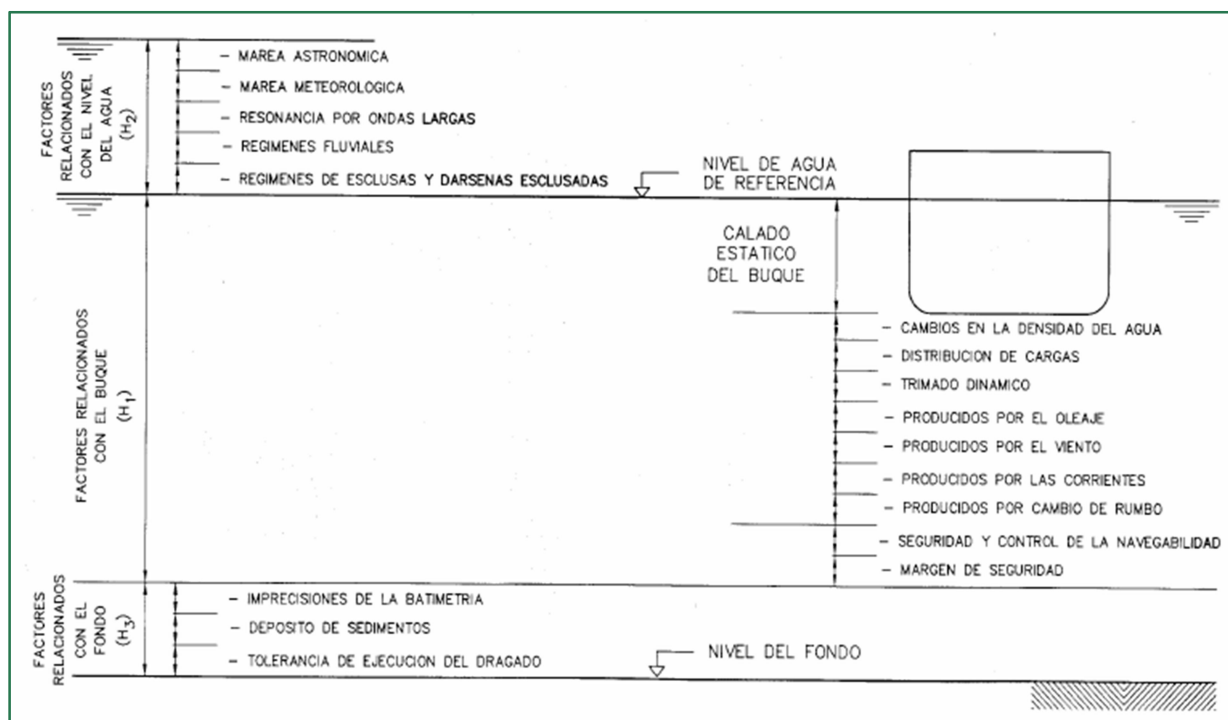


Figura 10.1. Factores que intervienen en la determinación de las profundidades de agua en las áreas de navegación y flotación. (Fuente: ROM 3.1-99)

2.1.1. Factores relacionados con el buque

Calado estático de los buques

El calado estático de los buques (D_e) se determina suponiendo el caso más desfavorable en el que el buque opera a plena carga y el de mayores dimensiones.

En el *Anejo nº10: Estudio de demanda y flota tipo*, se establece el tipo de embarcaciones para las que se proyectan las nuevas instalaciones. Las esloras de esas embarcaciones varían entre los 6 y 12 metros, según lo comentado anteriormente, se toma como buque de proyecto una embarcación deportiva a motor de 12 metros de eslora.

Dado que no se dispone de la información precisa de las dimensiones de los buques se utiliza la Tabla 3.1 incluida en la ROM, donde se muestran las dimensiones medias de los buques operando a plena carga.

Tonelaje de Peso Muerto (TPM) t	Desplazamiento (Δ) t	Eslora Total (L) m	Eslora entre perpendiculares (Lpp) m	Manga (B) m	Puntal (T) m	Calado (D) m	Coefficiente de Bloque
Embarcaciones deportivas (a motor)							
—	50,0	24,0	—	5,5	—	3,3	—
—	35,0	21,0	—	5,0	—	3,0	—
—	27,0	18,0	—	4,4	—	2,7	—
—	18,5	15,0	—	4,0	—	2,3	—
—	6,5	12,0	—	3,4	—	1,8	—
—	4,5	9,0	—	2,7	—	1,5	—
—	1,3	6,0	—	2,1	—	1,0	—

Tabla 10.1. Dimensiones medias de buques a plena carga. (Fuente: R.O.M. 3.1-99, Tabla 3.1)

El valor que se toma como calado estático del buque, D_e , es 1,8 m asociado a una embarcación de 12 m de eslora a plena carga.

Cambios en la densidad del agua

En este apartado se tiene en cuenta el cambio de agua por la que navega el buque, como sucede en este caso, que la embarcación pasa de agua del mar a agua fluvial. Este cambio de agua lleva asociado un cambio de densidad y a su vez una variación de calado.

En la ROM se determina un incremento del calado estático del 3%, suponiendo un peso específico del agua del mar de $1,03 \text{ t/m}^3$ y $1,00 \text{ t/m}^3$ del agua dulce.

Por tanto, el calado del buque producido por variaciones en la densidad, d_s , es igual a 0,048 metros.

Resguardo para seguridad y control de maniobrabilidad del buque

Con este resguardo se establece el espesor mínimo de la lámina de agua que debe quedar bajo la quilla para que el barco pueda mantener el control de la navegación. Su valor viene dado en la Tabla 7.2 de la ROM.

Teniendo en cuenta que la navegación se realiza por el cauce del río y que la velocidad dentro del puerto se limita a 3 nudos, el resguardo de seguridad, rv_{sm} , es 0,10 metros.

TABLA 7.2. RESGUARDOS PARA SEGURIDAD Y CONTROL DE LA MANIOBRABILIDAD DEL BUQUE (rv_{sm}) Y MARGEN DE SEGURIDAD (rv_{sd})			
	rv_{sm}	rv_{sd}	$rv_{sm} + rv_{sd}$
4. Embarcaciones menores, deportivas y pesqueros			
— Navegación sobre fondos limosos o arenosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,20 m	0,20 m	0,40 m
• Velocidad del buque limitada (≤ 8 nudos)	0,10 m	0,20 m	0,30 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,20 m	0,20 m
— Navegación sobre fondos rocosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,20 m	0,40 m	0,60 m
• Velocidad del buque limitada (≤ 8 nudos)	0,10 m	0,40 m	0,50 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,40 m	0,40 m

Tabla 10.2. Resguardos de seguridad. (Fuente: R.O.M. 3.1-99)

Margen de seguridad

Este margen determina el resguardo vertical libre que deberá quedar entre el casco del buque y el fondo. Su valor se toma de la anterior tabla, teniendo en cuenta las mismas consideraciones, el margen de seguridad (rv_{sd}) se fija en 0,20 metros.

Profundidad referente a los factores relacionados con el buque

Este calado depende de más factores que los incluidos en este documento que no han sido tenidos en cuenta pues no eran aplicables al caso que se trata o debido a la falta de datos para la realización del cálculo.

Se adopta como cota más baja que puede alcanzar el buque según factores que depende del mismo, H_1 , la suma de los valores obtenidos en los párrafos anteriores.

$$H_1 = D_e + d_s + rv_{sm} + rv_{sd} = 2,148 \text{ m} \approx 2,15 \text{ metros}$$

Se obtiene un valor de 2,15 metros que se decide incrementar a 2,30 m para quedar del lado de la seguridad e incluir, en cierto modo, algún factor no tenido en cuenta por falta de datos.

2.1.2. Factores relacionados con el nivel de las aguas

Marea astronómica y meteorológica

En el mar mediterráneo la marea astronómica que tiene lugar no es significativa, estableciéndose en torno a los 0,3 m.

En concreto para la zona de Cullera, según el estudio realizado en el *Anejo nº7: Clima atmosférico y marítimo*, el valor en régimen extremal de marea astronómica y meteorológica es de 0,706 m.

Sin embargo, en el lugar de emplazamiento de las infraestructuras no son de aplicación estos valores, dado que se trata del cauce de un río donde las mareas que se producen no son sensibles, aunque sí lo son las ondas de marea en las proximidades de la desembocadura que remontan río arriba.

A partir de los datos del estudio "*Caracterización hidrodinámica y ambiental del río Júcar en su tramo desde el azud de la Marquesa hasta su desembocadura*", para el caso más desfavorable (dirección del oleaje Este y un caudal inferior a 5 m³/s) las ondas de marea penetrarían 500 m aguas arriba de la desembocadura con una disipación del 90% de la altura de ola de aguas profundas.

Se puede concluir que el efecto de la marea en la zona de las instalaciones es poco significativo.

Régimen fluvial

Según los resultados obtenidos en el *Anejo nº8: Estudio hidrológico e hidráulico*, el régimen hidráulico del río Júcar en su tramo final se caracteriza por una carrera de 1 metro, siendo el nivel extremal mínimo entorno a los 0,6 m.

Nivel de agua de referencia

La R.O.M propone, en la Tabla 7.3, el nivel de agua a adoptar en las diferentes áreas de navegación o flotación según las características del área.

Características del área	Area de buques en tránsito	Area de buques en permanencia
B. Zonas con marea astronómica no significativa (U.A. ≤ 0,50 m)		
— Sin regímenes fluviales		
• Solo marea astronómica	NM-0,30 m	NM-0,50 m
• Marea astronómica y meteorológica	NM-0,60 m	NM-0,80 m
— Con regímenes fluviales no significativos ($N_{max}RH - N_{min}RH \leq 1,00 \text{ m}$)		
• Solo marea astronómica	$N_{min}RH-0,30 \text{ m}$	$N_{min}RH-0,50 \text{ m}$
• Marea astronómica y meteorológica	$N_{min}RH-0,60 \text{ m}$	$N_{min}RH-0,80 \text{ m}$
— Con regímenes fluviales significativos ($N_{max}RH - N_{min}RH > 1,00 \text{ m}$)		
• Solo marea astronómica	Optimizable	Mínimo extremal. Riesgo: 0,10
• Marea astronómica y meteorológica	Optimizable	Mínimo extremal. Riesgo: 0,10

LEYENDA:	
BMVE:	Bajamar mínima viva equinocial
NM:	Nivel Medio del mar = $\frac{PMVE + BMVE}{2}$
PMVE:	Pleamar máxima viva equinocial
$N_{\min} RH$:	Nivel extremal esperable de los mínimos anuales del régimen fluvial, asociado a un riesgo admisible
$N_{\max} RH$:	Nivel extremal esperable de los máximos anuales del régimen fluvial, asociado a un riesgo admisible
Area de buques en tránsito:	Accesos, vías de navegación, canales, bocanas, áreas de maniobra, etc.
Area de buques en permanencia:	Fondeaderos, amarraderos, dársenas, muelles, atraques, terminales, etc.

Tabla 10.3. Nivel de referencia de las aguas para determinar la profundidad. (Fuente: R.O.M. 3.1-99, Tabla 7.3)

Como se ha visto anteriormente para el área de estudio la corriente fluvial no se encuentra afectada por las mareas, para este caso la ROM establece como nivel de referencia el nivel extremal esperable de los mínimos anuales del régimen fluvial, $N_{\min} RH$, a partir del cual se mide la profundidad.

2.1.3. Factores relacionados con el fondo

No se tienen en cuenta pues sólo se consideran cuando se trata realizar proyectos de dragado, que no es el caso, pues se evalúa la navegación del buque en una zona con calado controlado, en la que se parte de un nivel del fondo conocido.

2.1.4. Determinación de la profundidad de agua del área de navegación y flotación

Teniendo en cuenta los factores anteriores y el nivel de referencia como punto de origen de medida, se establecen 3,5 m para la profundidad del agua necesaria en áreas de navegación y flotación.

2.2. CALADO DE LA LÍNEA DE ATRAQUE

La determinación de la profundidad de la línea de atraque, D_a , medida desde el nivel de agua de referencia, depende únicamente del calado de la mayor embarcación que circule por el canal de navegación, y será la más desfavorable entre lo establecido por Suárez Bores, P. (1968) y la ROM 3.1-99.

Suárez Bores, P. (1968) dicta que el calado debe ser el mayor entre:

- 3,5 metros en atraques para embarcaciones de eslora < 20 metros
- 2,5 metros en atraques para embarcaciones de eslora < 10 metros

Mientras que la ROM establece los siguientes calados en función del fondo y la eslora:

Eslora, L (m)	D_a (m) fondos limosos o arenosos
9	2,1
12	2,4
15	2,7

Tabla 10.7. Calado de la línea de atraque según fondo y eslora. (Fuente: ROM 3.1-99)

Teniendo en cuenta lo anterior el calado más desfavorable es el de 2,5 metros, que será el establecido para la línea de atraque.

3. REQUERIMIENTOS EN PLANTA

En este apartado se establecerán las dimensiones en planta de los canales de navegación que permitan en todo momento, la circulación, las maniobras y la permanencia de las embarcaciones en condiciones seguras.

3.1. VÍAS DE NAVEGACIÓN

Los factores que intervienen en su dimensionamiento se basan fundamentalmente en el tamaño y maniobrabilidad de los buques, el volumen de tráfico, las características geométricas de la alineación de la vía navegable, las condiciones climáticas del entorno en que se sitúa, la profundidad y la estabilidad de los taludes de la vía.

En el proyecto que se trata la vía de navegación es el cauce del río y su dimensionamiento según las recomendaciones de la ROM se realiza con la finalidad de conocer el lugar más idóneo para el emplazamiento de las nuevas infraestructuras de forma que cumpla con los requisitos de un espacio de navegación seguro.

3.1.1. Anchura de las vías de navegación

La anchura de navegación se mide perpendicularmente al eje longitudinal de la vía en el punto más estrecho de la sección transversal de la misma, y se determina como la suma de los términos siguientes:

$$B_t = B_n + B_r$$

donde,

B_t : anchura total de la vía de navegación.

B_n : anchura nominal de la vía de navegación o espacio libre que de quedar permanentemente disponible para la navegación de los buques, incluyendo los márgenes de seguridad.

B_r : anchura adicional de reserva para tomar en consideración los factores relacionados con los contornos de la vía.

El término B_r se obtiene mediante métodos empíricos, debido a que no se disponen de tales datos se aproxima el ancho total al ancho nominal.

La ROM señala para el supuesto en que se desarrollen muelles o atraques en las márgenes de la vía que los espacios requeridos para su implantación y operación con los márgenes de seguridad que se determinen, se sitúen fuera de la anchura total. A falta de criterios específicos recomienda mantener una reserva de espacio de 2,5 veces la manga del buque de diseño, entre el límite del canal y un barco que pudiera estar atracado en el muelle contiguo.

La determinación de la anchura nominal se realiza por el método determinista para vías con dos carriles de navegación en tramo recto con condiciones climáticas constantes a lo largo de la traza. Su valor se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$B_n = 2[B + b_d + 2(b_e + b_r + b_b)] + b_s + (rh_{sm} + rh_{sd})_i + (rh_{sm} + rh_{sd})_d \quad (1)$$

donde,

B: manga máxima de los buques que circularán por la vía de navegación.

b_d : sobreancho de la senda del buque, producido por la navegación con un determinado ángulo, calculado mediante la siguiente fórmula:

$$b_d = L \cdot \sin \beta$$

siendo,

L: eslora total del buque de diseño.

β : ángulo de deriva. La ROM recomienda valores máximos del ángulo en función de la profundidad de agua en reposo, h , y el calado del buque, D .

	β
— Vías navegables en áreas de $h/D \leq 1,20$	
• Tramos normales	5°
• Puntos singulares	10°
— Vías navegables en áreas de $h/D = 1,50$	
• Tramos normales	10°
• Tramos singulares	15°
— Vías navegables en áreas de $h/D \geq 5,00$	
• Tramos normales	15°
• Puntos singulares	20°

Figura 10.2. Limitación de los valores de ángulo de deriva. (Fuente: ROM 3.1-99)

b_e : sobreancho por errores de posicionamiento. En caso de no conocer las características del sistema de ayuda a la navegación, la ROM, propone adoptar un valor igual a la manga máxima, B , de los buques que operen en la vía.

b_r : sobreancho para respuesta, determinado en función de las características de la maniobrabilidad del buque, la manga máxima, la relación entre profundidad de agua en reposo y el calado del buque, y el riesgo máximo admisible, E_{max} , mediante la expresión:

$$b_r = (1,50 - E_{max}) \cdot b_{ro}$$

siendo,

b_{ro} : sobreancho para respuesta correspondiente a un valor de $E_{max} = 0,50$, obtenido con los siguientes criterios:

Maniobrabilidad del buque	b_{ro}	
	$h/D \leq 1,20$	$h/D \geq 1,50$
Buena	$0,10 \cdot B$	$0,10 \cdot B$
Media	$0,20 \cdot B$	$0,15 \cdot B$
Mala	$0,30 \cdot B$	$0,20 \cdot B$

Figura 10.3. Sobreancho para valorar la desviación adicional hasta que el buque corrige la posición. (Fuente: ROM 3.1-99)

Según la ROM, buque de capacidad de maniobra buena: embarcaciones menores (pesqueras y deportivas), el tráfico principal del puerto de Cullera.

b_b : sobreebanco para cubrir el error que pudiera derivarse de los sistemas de balizamiento. No se contabiliza por falta de información.

b_s : anchura de la banda de separación entre las dos vías determinado según los siguientes supuestos:

Vías con adelantamiento no permitido (sólo cruzamiento)	b_s	
	Vías navegables en áreas expuestas	Vías navegables en aguas protegidas
— Primer factor: Velocidad absoluta del buque		
• Mayor de 6 m/s	2.0 B	—
• Entre 4 y 6 m/s	1.6 B	1.4 B
• Menor de 4 m/s	1.2 B	1.0 B
— Segundo factor: Densidad de tráfico		
• 0-1 buques/hora	0.0 B	0.0 B
• 1-3 buques/hora	0.2 B	0.2 B
• > 3 buques/hora	0.5 B	0.4 B

Figura 10.4. Anchura de banda según características de las vías. (Fuente: ROM 3.1-99)

Teniendo en cuenta el factor de la velocidad del buque, menor a 4 m/s, en vía navegable en área expuesta, la expresión resultante para el cálculo de este sobreebanco es 1,2 B.

rh_{sd} : margen de seguridad que debe quedar siempre disponible entre el buque y los contornos.

rh_{sm} : resguardo adicional de seguridad que se debe considerar a cada lado de la vía, pudiendo ser diferente en una margen y la otra, $(rh_{sm})_i$ y $(rh_{sm})_d$. Se determina según los siguientes criterios, tomando valores superiores a los indicados a continuación y contando siempre con el margen de seguridad rh_{sd} .

	rh_{sm}	r_{sm}	$r_{sm} + rh_{sd}$
— Vías de navegación con taludes tendidos ($V/H \leq 1/3$)			
• Velocidad absoluta del buque ≥ 6 m/s	0.6 B	0.1 B	0.7 B
• Velocidad absoluta del buque entre 4 y 6 m/s	0.4 B	0.1 B	0.5 B
• Velocidad absoluta del buque ≤ 4 m/s	0.2 B	0.1 B	0.3 B
— Vías de navegación con taludes rígidos ($V/H \geq 1/2$) o con márgenes rocosos o estructurales			
• Velocidad absoluta del buque entre ≥ 6 m/s	1.2 B	0.2 B	1.4 B
• Velocidad absoluta del buque entre ≤ 4 y 6 m/s	0.8 B	0.2 B	1.0 B
• Velocidad absoluta del buque ≤ 4 m/s	0.4 B	0.2 B	0.6 B

Figura 10.5. Resguardo adicional de seguridad para evitar efectos de succión y rechazo de las márgenes. (Fuente: ROM 3.1-99)

Siendo V/H la pendiente del talud de las márgenes. Tal y como se vio en el Anejo nº8: Estudio hidrológico e hidráulico, el cauce del río Júcar en su tramo próximo a la desembocadura, se caracteriza por secciones transversales con taludes de pendientes superiores a 1/2.

Finalmente, introduciendo los valores de la tabla 10.4 en la expresión (1), se obtiene para cada embarcación un valor del ancho nominal de la vía. Se tomará el mayor de ellos asociado a una embarcación de 12 metros de eslora por ser más condicionante.

Ancho del canal de navegación según ROM 3.1-99					
L	Eslora del buque	m	6	9	12
D	Calado del buque	m	1,0	1,5	1,8
B	Manga del buque	m	2,1	2,7	3,4
h	Profundidad	m	4	4	4
B_n	Ancho total con 2 carriles	m	26,28	35,47	45,53

Tabla 10.4. Anchura de la vía de navegación según la ROM 3.1-99

Por otra parte, Del Moral y Berenguer (1980), establece que los canales principales de navegación deben de permitir tres vías de ancho dos veces la manga máxima del buque de diseño cada uno, más un resguardo de dos metros a cada lado de la vía de navegación. Además, se dejará un ancho entre el canal de navegación y los barcos atracados de 2,5 veces la manga del buque.

La anchura total que se obtiene según este criterio es la siguiente:

Ancho del canal de navegación según Del Moral y Berenguer (1980)					
L	Eslora del buque	m	6	9	12
B	Manga del buque	m	2,1	2,7	3,4
B_n	Ancho total	m	21,9	27,0	32,9

Tabla 10.5. Anchura de la vía de navegación según Del Moral y Berenguer (1980)

Teniendo en cuenta que las recomendaciones de la ROM 3.1-99 están enfocadas en el dimensionamiento de puertos de uso comercial, se ha optado por las anchuras obtenidas de Del Moral y Berenguer (1980), más acordes con el puerto deportivo de Cullera.

3.1.2. Áreas de maniobra

La zona que se procede a dimensionar es la necesaria para llevar a cabo las maniobras de atraque y salida de barcos.

De los numerosos factores a tener en cuenta para el dimensionamiento de este tipo de áreas, la ROM se limita al análisis de los aspectos relacionados con la navegación, condiciones de permanencia y operación de los buques en las infraestructuras de atraque.

Para el caso que se trata, una sola alineación de infraestructura (pantalán), la ROM 3.1-99 indica que se siguen los mismos criterios que para dársenas, con las debidas simplificaciones. En concreto, se emplearán las recomendaciones específicas para dársenas de embarcaciones deportivas que incorporen pantalanés.

Separación entre pantalanés

Según la ROM 2.0-11 la anchura del área de maniobras, medida desde los barcos amarrados a los pantalanés (por ser más desfavorable), será como mínimo de $1,75 \cdot L$ para buques de diseño con una eslora total (L) no mayor de 12,00 m. Por tanto, la anchura del área o separación entre pantalanés enfrentados en cada margen del río será como mínimo de 21 metros.

3.2. ZONAS DE ATRAQUE

Anchura de los pantalanes

La ROM 2.0-11 recomienda una anchura de los pantalanes, para el supuesto de que no admitan tráfico de vehículos, entre 1,20 m y 2,50 m en función del tamaño de los buques.

Para la disposición propuesta y las embarcaciones que la utilizaran se establecen como anchura de los pantalanes 2,50 m.

Longitud del pantalán

En la ROM 2.0-11 queda contemplado que para pantalanes flotantes fijados con pilotes, la solución adoptada, se recomienda una longitud máxima de 120 metros por razones de comodidad.

Longitud de la línea de atraque

En el caso que se trata las embarcaciones atracan abarloados a los pantalanes flotantes o a otras embarcaciones. En estos casos es válida la recomendación de aplicación a los pesqueros, $L_a = 1$ a $1,5 \cdot L$, siendo L la eslora del buque de cálculo (ROM 2.0-11).

Tomando las esloras de cada uno de los buques de diseño de la flota tipo y el valor máximo del intervalo recomendado pues las embarcaciones están sometidas a las corrientes del río, las longitudes de atraque son las siguientes:

Eslora, L (m)	$L_a = 1,5 \cdot L$ (m)
6	9,00
9	13,5
12	18

Tabla 10.6. Longitud de atraque según eslora