



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Estudio de Soluciones para la Ampliación del Puerto de Altea (Alicante). Obras de Abrigo y Ordenación Interior.

ANEXO VII:

Requerimientos en Planta y Alzado

Índice:

1. OBJETO.....	3
2. DIMENSIONAMIENTO EN PLANTA DE LA BOCANA.....	3
2.1 Orientación de la bocana	4
2.2 Anchura de la bocana	4
3. DETERMINACIÓN DE PROFUNDIDADES DE AGUA DE LAS ÁREAS DE NAVEGACIÓN Y FLOTACIÓN	7
3.1 Calado de la bocana.....	8
3.2 Calado del atraque.....	9
4. LONGITUD DE LA LÍNEA DE ATRAQUE	11
5. ÁREA DE MANIOBRA	12
6. REFERENCIAS.....	14

Índice de figuras:

Figura 1. Factores que intervienen en la determinación de las profundidades de agua en las áreas de navegación y flotación	7
Figura 2. Datos del mareógrafo de Gandía	9
Figura 3. Dimensiones en planta del atraque	11
Figura 4. Longitud de la línea de atraque.....	12
Figura 5. Área de maniobra	13

Índice de tablas:

Tabla 1. Valores del resguardo de seguridad	6
Tabla 2. Profundidad considerando los factores que afectan al buque	8
Tabla 3. Calado del atraque.....	10
Tabla 4. Radio mínimo de la trayectoria en función de la profundidad del agua	12

1. Objeto

El objetivo de este anejo es establecer las dimensiones mínimas en planta y alzado para diseñar tanto la bocana de entrada al puerto como el atraque.

En primer lugar, se va a realizar el dimensionamiento en planta de la bocana, estableciendo la orientación y el ancho de la misma. Posteriormente, se va a calcular la longitud de la línea de atraque necesaria en el nuevo muelle donde atracarán las embarcaciones.

A continuación, se van a calcular las profundidades necesarias tanto en la bocana como en la zona de atraque y amarre. Por último, se va a calcular el radio mínimo necesario para que los buques puedan realizar maniobras.

Para realizar este anexo es necesario disponer de cierta información como es la dirección del viento y del oleaje, obtenida en el Anexo V: Clima Marítimo, y las dimensiones de la flota tipo obtenida en el Anexo III: Estudios de Oferta y Demanda. El resto de información se obtendrá de la “ROM 3.1-99: Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Áreas de Flotación” y la “ROM 2.0-11 Recomendaciones para el Proyecto y Ejecución en Obras de Atraque y Amarre”.

2. Dimensionamiento en planta de la bocana

Para determinar las dimensiones de la bocana, se van a seguir las consideraciones que establece la ROM 3.1-99. Para ello se van a tener en cuenta los siguientes condicionantes:

- ⇒ La configuración general del puerto y la integración de la bocana o bocanas del puerto en sus infraestructuras y en sus áreas de flotación.
- ⇒ La navegación de entrada y salida de los buques al puerto en las condiciones límites de operación que se establezcan.
- ⇒ La limitación a la entrada de energía del oleaje en el interior del puerto, atendiendo al clima marítimo existente en el emplazamiento, de manera que la agitación que se produzca en las áreas de flotación utilizadas por el puerto sea la menor posible.
- ⇒ La conveniencia de limitar los periodos de cierre del puerto que se generen en la propia bocana, ocasionados por el clima marítimo existente en la zona y la configuración que se adopte para la bocana.
- ⇒ La dinámica litoral existente en la zona y las modificaciones que se puedan producir en ella a consecuencia de las propias infraestructuras portuarias.
- ⇒ Las características geológicas y geotécnicas del emplazamiento y la idoneidad consecuente de los terrenos para recibir obras de infraestructuras o desarrollar sobre ellos áreas de flotación.

- ⇒ Las previsibles ampliaciones del puerto y las limitaciones que a este respecto pudiera representar la configuración que se adopte para la bocana.
- ⇒ Los impactos medioambientales que puedan producirse.
- ⇒ La incidencia de otros condicionantes de planificación diferentes del estrictamente portuario.

La consideración de todos estos condicionantes conducirá a soluciones de compromiso en las que se consiga un equilibrio entre condicionantes que a veces resultarán contrapuestos.

2.1 Orientación de la bocana

La bocana debe estar orientada de manera que las embarcaciones puedan acceder al puerto de manera segura. Para ello se debe tener en cuenta primordialmente la dirección del oleaje.

En el anexo V: Clima Marítimo se estudiaron las direcciones de oleaje, resultando ser la dirección ESE la más frecuente y la de mayor altura significativa de ola. Por lo tanto, la bocana se orientará lo más perpendicular posible a dicha dirección, de manera que se evite la entrada de oleaje al puerto.

2.2 Anchura de la bocana

Según establece la ROM 3.1-99, la anchura de la vía de navegación, medida perpendicularmente al eje longitudinal de la vía, se determinará como suma de los términos siguientes:

$$B_t = B_n + B_r$$

Siendo:

- ⇒ B_t es la anchura total de la vía de navegación, que se medirá en el punto más estrecho de la sección transversal de la vía de navegación.
- ⇒ B_r es la anchura adicional de reserva para tomar en consideración los factores relacionados con los contornos. Esta anchura podrá ser diferente en uno y otro margen según la naturaleza y características de las mismas. En este caso, se toman 2 metros a cada lado del buque como anchura adicional de reserva. Por lo tanto:

$$B_r = 2 + 2 = 4 \text{ metros}$$

- ⇒ B_n es la anchura nominal de la vía de navegación o espacio libre que debe quedar permanentemente disponible para la navegación de los buques, incluyendo los márgenes de seguridad. Esta anchura nominal incluye la influencia de los siguientes factores:
 - El tamaño, las dimensiones y las características de maniobrabilidad de la flota de diseño.

- Las ayudas a la navegación disponibles y los factores que afectan a su exactitud y fiabilidad, que determinarán las líneas o puntos de referencia para emplazar el buque.
- Los márgenes de seguridad que se establezcan para prevenir un contacto del buque con los contornos de las áreas de navegación o flotación, o con otras embarcaciones y objetos fijos o flotantes que puedan existir en el entorno.

La determinación de la anchura nominal B_n de la vía de navegación se calculará mediante el método determinístico, para vías con un solo carril de navegación en tramos rectos con condiciones climáticas constantes a lo largo de la traza. Se determina mediante la fórmula siguiente:

$$B_n = B + b_d + 2 \cdot (b_e + b_r + b_b) + (rh_{sm} + rh_{sd})_i + (rh_{sm} + rh_{sd})_d$$

Donde:

- ⇒ B es la manga máxima de los buques que circularán por la vía de navegación. En este caso, $B = 6,5 \text{ m}$.
- ⇒ b_d es el sobreancho de la senda del buque, producido por la navegación con un determinado ángulo (ángulo de deriva) en relación con el eje de la vía navegable, para corregir la deriva del buque ocasionada por la incidencia de los vientos, oleajes, corrientes o remolcadores.

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

Donde:

- L es la eslora total del buque de diseño, que en este caso es 25 m.
- β es el ángulo de deriva, que, para derivas ocasionadas por la acción simultánea de vientos, corrientes, oleajes y remolcadores, toma el valor de 10° en tramos normales de vías navegables en áreas de $h/D = 1,50$.

Por lo tanto,

$$b_d = 25 \cdot \sin 10 = 4,34 \text{ m}$$

- ⇒ b_e es el sobreancho por errores de posicionamiento. Corresponde a la diferencia entre la verdadera posición del buque y la posición estimada por el capitán utilizando los medios de información y ayuda a la navegación disponibles en el área de navegación o flotación que se analice. En el caso de que no se conozcan las características del sistema de ayuda a la navegación, se adoptará como medida de este sobreancho un valor igual a la manga máxima B de los buques que operen en la vía navegable. En este caso:

$$b_e = B = 6,5 \text{ m}$$

- ⇒ b_r es el sobreancho para respuesta, que valora la desviación adicional que puede producirse desde el instante en que se detecte la desviación del buque en relación a su posición teórica y el momento en que la corrección es efectiva.

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

Donde:

- E_{max} es el riesgo máximo admisible determinado con los criterios establecidos en la Tabla 2.2 de la ROM 3.1-99. En este caso, se tomará el valor $E_{max} = 0,30$.

- b_{ro} es el sobreancho para respuesta correspondiente a un valor de $E_{max} = 0,50$.
El valor de b_{ro} en este caso es:

$$b_{ro} = 0,10 \cdot B = 0,10 \cdot 6,5 = 0,65 \text{ m}$$

Por lo tanto,

$$b_r = (1,50 - 0,30) \cdot 0,65 = 0,78 \text{ m}$$

- ⇒ b_b es el sobreancho para cubrir el error que pudiera derivarse de los propios sistemas de balizamiento. Toma el valor de 0,5 metros.
- ⇒ rh_{sm} es el resguardo adicional de seguridad que deberá considerarse a cada lado de la vía navegable, para permitir la navegación del buque sin que resulte afectada por los efectos de succión y rechazo de las márgenes. En este caso, el resguardo es igual a ambos lados.
- ⇒ rh_{sd} es el margen de seguridad o resguardo horizontal libre que deberá quedar siempre disponible entre el buque y los contornos, taludes o cajeros de la vía navegable. En ambos márgenes, el resguardo es el mismo.

Para la obtención de dichos resguardos se recurre a los valores indicados a continuación:

	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	$0.4 B$	$0.2 B$	$0.6 B$

Tabla 1. Valores del resguardo de seguridad. (Fuente: ROM 3.1-99)

Por lo tanto, para una vía de navegación con taludes tendidos y velocidad absoluta del buque entre 4 y 6 m/s, el resguardo adicional de seguridad será:

$$(rh_{sm} + rh_{sd})_i + (rh_{sm} + rh_{sd})_d = (0,5 \cdot B) + (0,5 \cdot B) = 6,5 \text{ m}$$

Posteriormente, se calcula la anchura nominal:

$$B_n = 6,5 + 4,34 + 2 \cdot (6,5 + 0,78 + 0,5) + 6,5 = 32,9 \text{ metros}$$

Finalmente, se calcula el ancho total de la bocana, que es el mínimo a disponer:

$$B_t = 32,9 + 4 = 36,9 \approx 37 \text{ metros}$$

3. Determinación de profundidades de agua de las áreas de navegación y flotación

Para determinar la profundidad de agua necesaria en las diferentes áreas de navegación y flotación se deben tener en cuenta diversos factores:

- ⇒ El calado de los buques y los factores relacionados con los barcos que puedan ocasionar que algún punto de su casco alcance una cota más baja que la correspondiente a quilla plana en condiciones estáticas en agua de mar (H1).
- ⇒ El nivel del agua que se considere y los factores que afectan a su variabilidad (H2), que determinarán el plano de referencia para emplazar el buque.
- ⇒ Los márgenes de seguridad que se establezcan para prevenir un contacto del buque con el fondo.

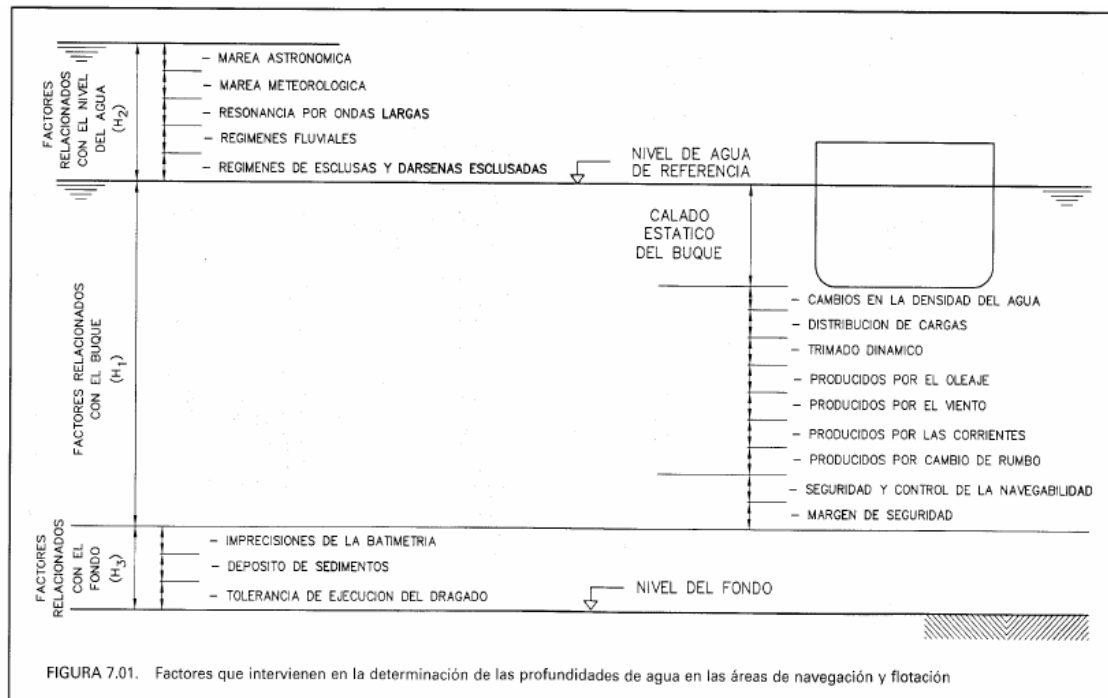


Figura 1. Factores que intervienen en la determinación de las profundidades de agua en las áreas de navegación y flotación. (Fuente: ROM 3.1-99)

3.1 Calado de la bocana

Para obtener los factores relacionados con el buque (H_1), se ha utilizado el procedimiento empírico de la ROM 3.1-99. En este procedimiento se cuantifican los factores relacionados con el buque incluyendo su propio calado y los Márgenes de Seguridad (H_1) en función de las características del Área de Flotación que se analice y el calado (C) del buque que se considere.

	H_1
— Antepuertos, fondeaderos y vías de navegación exteriores. Bocanas de puertos	
• Abrigados por la forma de la costa	1,10 C
• Poco abrigados	1,20 C
• Desabrigados con oleajes $H_s < 1,00$ m	1,30 C
• Totalmente desabrigados con oleajes $H_s \geq 2,00$ m	1,50 C
— Vías de navegación interiores	
• Abrigadas	1,10 C
• Poco abrigadas	1,15 C
— Áreas de maniobras	
• Abrigadas	1,08 C
• Poco abrigadas	1,12 C
— Muelles y atraques abrigados	
• Para buques grandes ($D > 10.000$ t)	1,08 C
• Para buques pequeños y medios ($D \leq 10.000$ t)	1,05 C
— Muelles y atraques poco abrigados	
• Para buques grandes ($D > 10.000$ t)	1,12 C
• Para buques pequeños y medios ($D \leq 10.000$ t)	1,10 C

Tabla 2. Profundidad considerando los factores que afectan al buque. (Fuente: ROM 3.1-99)

De la tabla anterior se puede extraer que para las bocanas de los puertos que estén poco abrigados, como es el caso, la profundidad que tiene que tener la bocana es:

$$H_1 = 1,20 \cdot C = 1,20 \cdot 2,8 = 3,36 \text{ metros}$$

Para obtener los factores relacionados con el nivel del agua y que afectan a su variabilidad (H_2), se tienen en cuenta los datos que registra el mareógrafo de Gandía, que es el más cercano al puerto de estudio, como ya se vio en el Anexo V: Clima Marítimo.

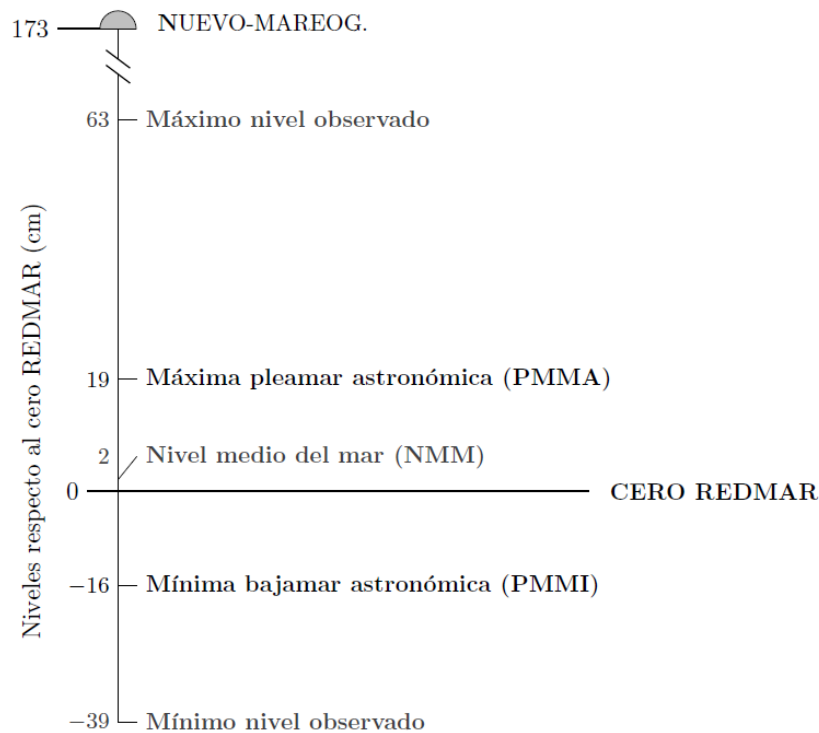


Figura 2. Datos del mareógrafo de Gandía. (Fuente: Red de Mareógrafos de Puertos del Estado)

La variación del nivel del mar es de 1,02 metros. Por lo tanto, la profundidad teniendo en cuenta los factores relacionados con el nivel del agua (H2) es:

$$H_2 = 1,02 \text{ metros}$$

Asimismo, deben tenerse en cuenta los factores relacionados con el fondo para cubrir las imprecisiones de la batimetría. Al no disponer de sistemas de compensación del oleaje:

$$H_3 = 0,10 + 1\% \text{ de la profundidad de agua} = 0,14 \text{ metros}$$

Así pues, el calado que debe tener la bocana es:

$$H_{bocana} = H_1 + H_2 + H_3 = 3,36 + 1,02 + 0,14 = 4,52 \rightarrow 5 \text{ metros}$$

3.2 Calado del atraque

Con independencia de los calados existentes en los canales de acceso y demás áreas de flotación que condicionan la accesibilidad y la salida de los buques, el calado del atraque (h_a) será como mínimo el que permita la permanencia de todos los buques de la flota esperable en el atraque en las situaciones de carga previstos, con un determinado nivel de operatividad.

Es recomendable considerar que no se debe producir la suspensión de la permanencia del buque en el atraque por insuficiencia de calado, siendo otras causas de paralización las que realmente determinen el nivel de operatividad de la instalación de atraque. Por estas razones, a los efectos de determinación del calado del atraque se considerará que los niveles de las aguas exteriores debidos a mareas y, en su caso, regímenes fluviales no limitan la permanencia del buque en el atraque.

Por otra parte, puesto que los valores umbrales de los agentes climáticos y océano-meteorológicos que se adopten como límite para la realización de las operaciones de partida del buque desde el atraque no pueden ser más restrictivos que para la permanencia del buque en el mismo, puede ser recomendable para el dimensionamiento de las áreas de acceso y de maniobra con criterios de optimización económica independizar la suspensión de permanencia del buque en el atraque y la suspensión de la accesibilidad marítima en relación con los umbrales de operatividad adoptados para los niveles de aguas exteriores debidas a mareas y regímenes fluviales. Para ello, es conveniente garantizar prácticamente la permanencia del buque en el atraque independientemente de los valores que puedan presentar en el emplazamiento los niveles de marea. A efecto de la determinación del calado, se adoptará como calado aquel asociado a una probabilidad de que el buque toque fondo durante la vida útil de la instalación de atraque de 0,10 en caso de instalaciones de atraque en las que no se manipulen mercancías peligrosas.

Según la ROM 2.0-11, en la tabla 3.2.2.2. formula de manera simplificada la estimación del calado del atraque a partir del nivel de referencia de las aguas exteriores adoptado:

	BUQUE DE CALADO MÁXIMO EN LA PEOR SITUACIÓN DE CARGA DE LA FLOTA ESPERABLE EN EL ATRAQUE	h_1 2)	h_3
OBRAS DE ATRAQUE SITUADAS EN ÁREAS ABRIGADAS	Buques de gran desplazamiento (≥ 10.000 t)	$1,08 D_e$	1,00 m
	Buques de desplazamiento pequeño y mediano (< 10.000 t)	$1,05 D_e$	0,75 m
OBRAS DE ATRAQUE SITUADAS EN ÁREAS POCO ABRIGADAS	Buques de gran desplazamiento (≥ 10.000 t)	$1,12 D_e$	1,00 m
	Buques de desplazamiento pequeño y mediano (< 10.000 t)	$1,10 D_e$	0,75 m
Notas (1) Esta formulación tiene validez siempre y cuando los valores de compatibilidad de las variables climáticas en el emplazamiento compatibles con el nivel de referencia adoptado para las aguas exteriores (<i>ventana de marea operativa o, en su caso, extraordinaria</i>) no den lugar a condiciones límite de permanencia del buque en el atraque clasificadas como Tipo III de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.49 de esta Recomendación. (2) En cualquier caso el resguardo bruto mínimo ($h_1 - D_e$) debe ser de 0,50 m para obras de atraque de uso comercial, industrial y militar y de 0,30 m para obras de atraque de uso pesquero y deportivo. No obstante lo anterior, cuando se prevean socavaciones importantes causadas por la acción de las hélices, del oleaje u otras causas, el resguardo bruto mínimo habrá de aumentar hasta 1,00 m. Si se colocan elementos de protección contra dichos efectos, éstos se situarán como mínimo a 0,75 m por debajo del nivel nominal del fondo.			

Tabla 3. Calado del atraque. (Fuente: ROM 2.0-11)

Para este caso:

$$\Rightarrow h_1 = 1,05 \cdot D_e = 1,05 \cdot 2,8 = 2,94 \text{ metros}$$

No obstante, este calado no cumple la nota (2), por lo tanto, se considera que $h_1 = 3,1$ metros. De esta manera el resguardo bruto mínimo es de 0,30 metros.

$$\Rightarrow h_3 = 0,75 \text{ metros}$$

Así pues, según la misma ROM, el calado que debe tener el atraque es:

$$h_a = h_1 + h_3 = 3,10 + 0,75 = 3,85 \text{ metros} \rightarrow 4 \text{ metros}$$

Adicionalmente, el calado del atraque se extenderá como mínimo a lo largo de toda la longitud de la línea de atraque, extendiéndose en cada extremo, cuando la obra de atraque no esté limitada, en una longitud igual a 0,15 veces la eslora correspondiente a buque de lo flota esperable en el atraque de eslora máxima ($L_{\max}$), siendo en este caso la longitud total no menor que $1,5L_{\max}$. Es decir, una longitud igual a:

$$L_a + 0,30L_{\max} > 1,5L_{\max}$$

Y en una anchura igual a 1,25 veces la manga correspondiente al buque de mayor manga ($B_{\max}$) de la flota.

A continuación, se adjunta una imagen que muestra la mínima extensión en planta del calado del atraque.

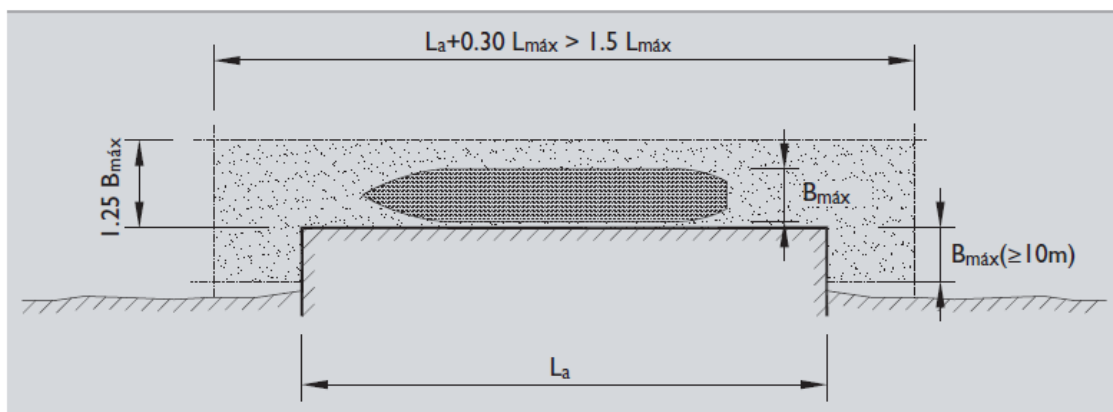


Figura 3. Dimensiones en planta del atraque. (Fuente ROM 2.0-11)

4. Longitud de la línea de atraque

Las embarcaciones náutico-deportivas suelen atracar de punta en muelles o pantalanés fijos o flotantes. El amarre se hace al propio muelle o pantalán y a elementos auxiliares de amarre (*fingers*) o a boyas o campos de boyas.

La longitud de línea de atraque ocupada dependerá de la manga del buque tipo y de los “clareos” o espacios libres entre barcos, cuya misión es la de permitir las maniobras de atraque/desatraque con facilidad y seguridad y la colocación de pequeñas defensas entre barcos y entre barcos y *fingers*, en su caso.

La longitud de línea de atraque (L_a) que se asigna a cada embarcación suele oscilar entre 1,15 y 1,25 veces la manga del buque de manga tipo.

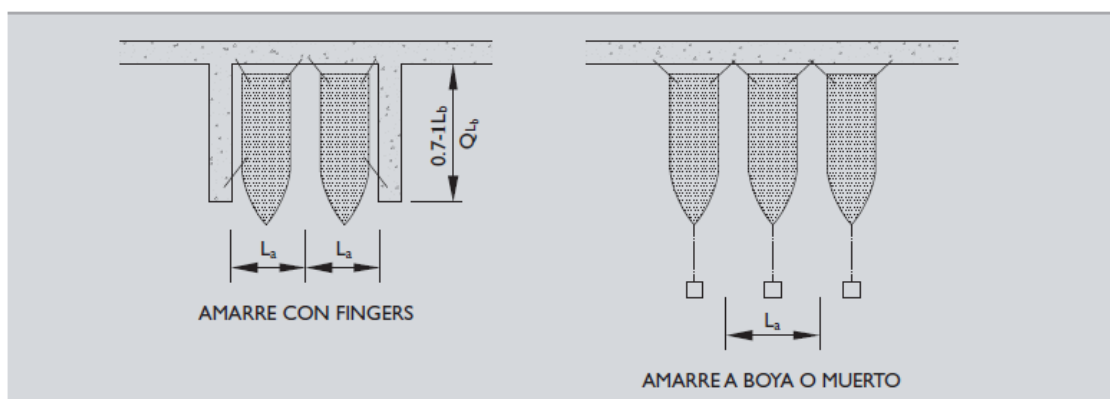


Figura 4. Longitud de la línea de atraque. (Fuente: ROM 2.0-11)

Por lo tanto, la longitud mínima de la línea de atraque de una embarcación de recreo es de 7,8 metros.

5. Área de maniobra

El área de maniobra de reviro, o espacio que necesita el buque para cambiar de dirección o de orientación en redondo invirtiendo su sentido de marcha, en el supuesto que se efectúe sin auxilio de remolcadores, es un círculo de radio R_{sr} , cuyo valor se determinará con los criterios siguientes:

$$R_{sr} = R \cdot \tan 30^\circ + K \cdot L + 0,35 \cdot L$$

Siendo:

- ⇒ R_{sr} : radio del círculo de maniobra, para operación sin remolcadores.
- ⇒ L : eslora total del buque. En este caso, $L = 25$ metros.
- ⇒ R : radio mínimo de la trayectoria del buque en marcha adelante o marcha atrás, para el que, a reserva de estudios de mayor detalle, se tomarán los valores siguientes en función de la profundidad de agua en el emplazamiento:

Profundidad de agua	Radio mínimo
$\geq 5,0 D$	$3,0 L_{pp}$
$1,5 D$	$3,5 L_{pp}$
$\leq 1,2 D$	$5,0 L_{pp}$

Tabla 4. Radio mínimo de la trayectoria en función de la profundidad del agua. (Fuente: ROM 3.1-99)

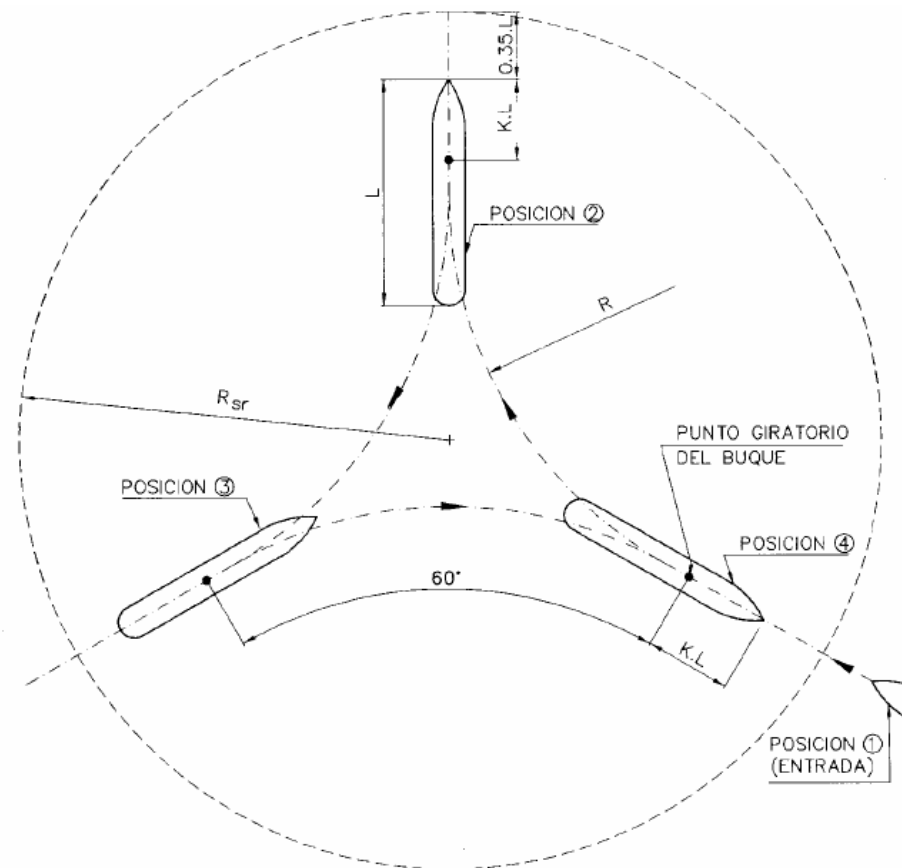
Siendo D el calado del buque y L_{pp} la eslora entre perpendiculares. En este caso, $R = 73,5$ metros.

⇒ K : distancia del punto giratorio a la popa del buque (o a la proa si fuera mayor), expresado en fracción de la eslora total del buque (L). para embarcaciones deportivas, $K = 1$.

Así pues, el radio del círculo de maniobra es:

$$R_{sr} = 73,5 \cdot \tan 30^\circ + 1 \cdot 25 + 0,35 \cdot 25 = 76,19 \text{ metros}$$

En la imagen puede observarse un esquema de las dimensiones mencionadas anteriormente.



R_{sr} = RADIO DEL CIRCULO DE MANIOBRA
 R = RADIO DE LA TRAYECTORIA DEL BUQUE EN MARCHA AVANTE O MARCHA ATRAS
 L = ESLORA TOTAL DEL BUQUE
 K = DISTANCIA DEL PUNTO GIRATORIO A LA PROA O A LA POPA DEL BUQUE (LA MAS DESFAVORABLE) EXPRESADO EN FRACCION DE L
 $0,35L$ = RESGUARDO DE SEGURIDAD

Figura 5. Área de maniobra. (Fuente: ROM 3.1-99)

6. Referencias

- ⇒ Gobierno de España. Ministerio de Fomento. “ROM 3.1-99: Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Áreas de Flotación”, 1999.
- ⇒ Gobierno de España. Ministerio de Fomento. “ROM 2.0-11: Recomendaciones para el Proyecto y Ejecución en Obras de Atraque y Amarre”, 2011.