

# **ROM 3.1-99**

**PROYECTO DE LA CONFIGURACION  
MARITIMA DE LOS PUERTOS; CANALES  
DE ACCESO Y AREAS DE FLOTACION**



**OBRAS  
MARITIMAS**  
*TECNOLOGIA*



**Puertos del Estado**



**2000**





## PREFACIO

---

Con la publicación de las Recomendaciones para el «Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Áreas de Flotación» (ROM 3.1-99), PUERTOS DEL ESTADO hace realidad uno de los Códigos previstos en 1987, cuando se inició el Programa ROM (Recomendaciones de Obras Marítimas) por orden de la antigua Dirección General de Puertos y Costas del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

Estas nuevas Recomendaciones refuerzan el concepto de operatividad portuaria, como base para el establecimiento de criterios de proyecto de la configuración marítima de los puertos, sus accesos y áreas de flotación. Por tanto, la ROM 3.1-99 no solamente fija requisitos ineludibles de seguridad marítimo-portuaria, sino que además pretende garantizar unas condiciones mínimas de navegación y maniobrabilidad de los buques en aguas portuarias y en definitiva, contribuir a la optimización del régimen de explotación de las diferentes áreas portuarias que atienden al tráfico de buques.

En este sentido, la presente ROM 3.1-99 tiene como finalidad principal el proyecto y construcción de la configuración marítima de los puertos, sus accesos y áreas de flotación. Aunque no constituye un Reglamento de Explotación Marítima de estas áreas, la ROM 3.1-99 puede emplearse fácilmente para esta finalidad, teniendo en cuenta el hecho de que la configuración marítima de los puertos ha de garantizar las condiciones límites de operación que se establezcan para las distintas maniobras de los buques en aguas portuarias.

Con este objetivo, la ROM 3.1-99, dentro de su ámbito de aplicación, se hace eco del importante esfuerzo renovador de carácter metodológico que PUERTOS DEL ESTADO ha afrontado para el conjunto del Programa ROM y uno de cuyos puntales es precisamente la compatibilización de los requisitos de seguridad con los de funcionalidad. El dimensionamiento en alzado y en planta de las zonas de navegación y maniobra de los buques en los puertos, requiere tener en cuenta tanto las acciones externas previstas durante el período de servicio de tales zonas, como los tráfico y tipologías de buques previsibles, circunstancia que aporta al contenido de la presente ROM 3.1-99 una visión funcional más adaptable al proceso de planificación integral de la obra marítimo-portuaria.

Estas Recomendaciones reflejan pues este esfuerzo modernizador y hacen uso de todo el rico caudal tecnológico actualmente existente en materia de maniobrabilidad de buques y de la interacción de estos con el medio físico (vientos, oleajes y corrientes). En este sentido, se abre una vía adecuada para el empleo racional de métodos probabilísticos, técnicas de simulación y ensayos en modelo reducido para una completa caracterización de las maniobras más frecuentes de operación de buques en los puertos.

La utilización de la tecnología más avanzada en el campo marítimo-portuario para el diseño de los accesos y las áreas de flotación, permite plantear una metodología de cálculo adaptable a los objetivos y recursos disponibles por parte del usuario de estas Recomendaciones, ya sea éste planificador, proyectista o constructor, sin menoscabo de fijarse unos requerimientos mínimos con carácter general. De esta forma, la ROM 3.1-99 se configura como un instrumento abierto en el que se proponen líneas avanzadas de cálculo, coherentes con las disposiciones generales de los principales organismos internacionales (OMI, AISM...) y comprometidas con el logro de un alto nivel de seguridad y operatividad en nuestras aguas portuarias.

Madrid, junio de 2000.

JOSÉ LLORCA ORTEGA  
Presidente de Puertos del Estado



# INDICE GENERAL

---

<b>INTRODUCCION</b> .....	13
<b>PARTE 1. GENERAL</b> .....	17
1.1. <b>AMBITO DE APLICACION</b> .....	23
1.2. <b>CONTENIDO</b> .....	23
1.3. <b>DEFINICIONES</b> .....	24
1.4. <b>SISTEMAS DE UNIDADES</b> .....	37
1.5. <b>NOTACIONES</b> .....	37
1.6. <b>REFERENCIAS DOCUMENTALES</b> .....	37
<b>PARTE 2. CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO</b> .....	55
2.1. <b>FASES DE PROYECTO</b> .....	61
2.2. <b>VIDA UTIL</b> .....	62
2.3. <b>ELEMENTOS QUE DEFINEN UN AREA DE NAVEGACION Y FLOTACION</b> .....	62
2.4. <b>CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO</b> .....	64
2.5. <b>CRITERIOS DE VALORACION DE DIMENSIONES GEOMETRICAS</b> .....	66
2.6. <b>VALORACION DE CASOS ACCIDENTALES</b> .....	70
<b>PARTE 3. CARACTERISTICAS DE MANIOBRABILIDAD DE LOS BUQUES</b> .....	71
3.1. <b>BUQUE DE PROYECTO</b> .....	79
3.2. <b>FACTORES QUE AFECTAN A LA MANIOBRABILIDAD DE LOS BUQUES</b> .....	84
3.3. <b>SISTEMAS DE PROPULSION</b> .....	85
3.4. <b>ACCION DEL TIMON</b> .....	94
3.5. <b>ACCION COMBINADA DE HELICE Y TIMON</b> .....	97
3.6. <b>ACCION DE LAS HELICES TRANSVERSALES</b> .....	99
3.7. <b>ACCION DE LAS AMARRAS</b> .....	100

3.8.	ACCION DEL ANCLA Y LA CADENA .....	101
3.9.	OTRAS CARACTERISTICAS DE MASA E INERCIA DEL BUQUE QUE INCIDEN EN SU MOVIMIENTO .....	103
<b>PARTE 4.</b>	<b>ACCIONES EXTERNAS SOBRE EL BUQUE .....</b>	<b>105</b>
4.1.	ACCION Y EFECTOS DEL VIENTO .....	113
4.2.	ACCION Y EFECTOS DE LA CORRIENTE .....	117
4.3.	ACCION Y EFECTO DEL OLEAJE .....	119
4.4.	EFECTOS DE LOS TEMPORALES .....	123
4.5.	EFECTO DE LAS BAJAS PROFUNDIDADES .....	123
4.6.	EFECTO DE SUCCION Y RECHAZO DE LAS ORILLAS .....	124
4.7.	EFECTO DE CRUCE DE BUQUES .....	124
4.8.	EVALUACION DE LAS ACCIONES EXTERNAS SOBRE EL BUQUE .....	124
<b>PARTE 5.</b>	<b>REMOLCADORES .....</b>	<b>141</b>
5.1.	FUNCIONES DE LOS REMOLCADORES .....	149
5.2.	TIPOS DE REMOLCADORES .....	149
5.3.	SISTEMA DE PROPULSION Y GOBIERNO DE LOS REMOLCADORES .....	150
5.4.	CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES DE LOS REMOLCADORES .....	158
5.5.	FORMAS DE ACTUACION DE LOS REMOLCADORES .....	159
5.6.	ACCION DE LOS REMOLCADORES .....	161
5.7.	DETERMINACION DE LAS NECESIDADES DE REMOLCADORES .....	162
5.8.	ELEMENTOS DE REMOLQUE .....	164
<b>PARTE 6.</b>	<b>NAVEGACION Y MANIOBRAS DE BUQUES .....</b>	<b>167</b>
6.1.	INTRODUCCION .....	173
6.2.	CURVAS EVOLUTIVAS .....	173
6.3.	EXTINCION NATURAL Y FORZADA DE LA ARRANCA-DA DEL BUQUE (PARADA DEL BUQUE) .....	185
6.4.	ESTUDIOS DE MANIOBRAS .....	189

<b>PARTE 7.</b>	<b>REQUERIMIENTOS EN ALZADO .....</b>	<b>191</b>
7.1.	ALCANCE DEL CAPITULO .....	199
7.2.	DETERMINACION DE PROFUNDIDADES DE AGUA DE LAS AREAS DE NAVEGACION Y FLOTACION .....	199
7.3.	GALIBO SOBRE AREAS DE FLOTACION .....	232
7.4.	NIVELES DE CORONACION DE MUELLES .....	235
<b>PARTE 8.</b>	<b>REQUERIMIENTOS DE PLANTA .....</b>	<b>237</b>
8.1.	ALCANCE DEL CAPITULO .....	247
8.2.	DISPOSICIONES GENERALES SOBRE ORGANIZACION DEL TRAFICO MARITIMO .....	248
8.3.	DETERMINACION DE LA CONFIGURACION Y DIMENSIONES EN PLANTA DE LAS AREAS DE NAVEGACION Y FLOTACION .....	249
8.4.	VIAS DE NAVEGACION .....	250
8.5.	BOCANAS DE PUERTOS .....	287
8.6.	AREAS DE MANIOBRA .....	289
8.7.	FONDEADEROS .....	306
8.8.	AMARRADEROS Y CAMPOS DE BOYAS .....	316
8.9.	CONDICIONES COMUNES APLICABLES A VIAS DE NAVEGACION, AREAS DE MANIOBRAS, FONDEADEROS, ANTEPUERTOS, AMARRADEROS Y CAMPOS DE BOYAS .....	322
8.10.	DARSENAS Y MUELLES .....	324
8.11.	INSTALACIONES ESPECIALES .....	341
8.12.	CONDICIONES LIMITES DE OPERACION .....	343
<b>PARTE 9.</b>	<b>MODELOS NUMERICOS Y SIMULADORES DE MANIOBRAS DE BUQUES .....</b>	<b>347</b>
9.1.	OBJETIVOS .....	353
9.2.	TIPOS DE MODELOS .....	354
9.3.	FUNDAMENTO DEL MODELO .....	358
9.4.	PREPARACION DE UN ESTUDIO .....	364

9.5.	<b>DESARROLLO DE LAS MANIOBRAS SIMULADAS</b> .....	365
9.6.	<b>ANALISIS DE RESULTADOS</b> .....	366
9.7.	<b>VENTAJAS E INCONVENIENTES</b> .....	371
9.8.	<b>METODOLOGIA EMPLEADA EN EL SIMULADOR</b> .....	372
<b>ANEJO I.</b>	<b>MANIOBRAS DE BUQUES</b> .....	<b>377</b>
I.1.	<b>NAVEGACION FOR RIOS, CANALES Y VIAS NAVE- GABLES (vientos, oleajes y corrientes de través)</b> .....	385
I.2.	<b>NAVEGACION EN CURVA EN RIOS O CANALES (co- rriente fuerte en contra)</b> .....	386
I.3.	<b>NAVEGACION EN CURVA EN RIOS O CANALES (co- rriente fuerte a favor)</b> .....	387
I.4.	<b>NAVEGACION EN CURVA EN RIOS O CANALES (viento de popa y corriente fuerte a favor)</b> .....	388
I.5.	<b>FRANQUEAR PASOS ANGOSTOS EN UNA VIA NAVE- GABLE (vientos, oleajes o corrientes transversales al eje de la vía)</b> .....	389
I.6.	<b>FRANQUEAR PASOS ANGOSTOS EN UNA VIA NAVE- GABLE (vientos, oleajes o corrientes transversales al eje de la vía). Maniobra alternativa</b> .....	390
I.7.	<b>GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPA- CIOS REDUCIDOS (Tiempo calmo: condiciones cli- máticas que no afecten significativamente a la ma- niobra)</b> .....	391
I.8.	<b>GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPA- CIOS REDUCIDOS (viento fuerte de proa)</b> .....	392
I.9.	<b>GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPA- CIOS REDUCIDOS (viento fuerte de traves de estri- bor o de la amura de estribor)</b> .....	393
I.10.	<b>GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPA- CIOS REDUCIDOS (viento fuerte de través de babor o de la amura de babor)</b> .....	394
I.11.	<b>GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPA- CIOS REDUCIDOS (viento fuerte de la aleta de estri- bor o de la aleta de babor)</b> .....	395
I.12.	<b>GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPA- CIOS REDUCIDOS (viento fuerte de popa)</b> .....	396

I.13.	<b>GIRAR UN BUQUE DE DOS HELICES EN ESPACIOS REDUCIDOS (Tiempo calmo: condiciones climáticas que no afecten significativamente a la maniobra, o viento fuerte en cualquier dirección)</b> .....	397
I.14.	<b>GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON UN REMOLCADOR (Tiempo calmo: condiciones climáticas que no afecten significativamente a la maniobra)</b> .....	398
I.15.	<b>GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON UN REMOLCADOR (vientos, oleajes o corrientes fuertes)</b> .....	399
I.16.	<b>GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON DOS O MAS REMOLCADORES (vientos, oleajes o corrientes en cualquier dirección)</b> .....	400
I.17.	<b>GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON DOS O MAS REMOLCADORES (vientos, oleajes o corrientes en cualquier dirección). Maniobras alternativas</b> .....	401
I.18.	<b>FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA (fondeo en tiempo calmo con arrancada avante)</b> .....	402
I.19.	<b>FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA (fondeo en tiempo calmo con arrancada atrás)</b> .....	403
I.20.	<b>FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA (viento fuerte)</b> .....	404
I.21.	<b>FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA (corriente fuerte)</b> .....	405
I.22.	<b>FONDEAR UN BUQUE CON DOS ANCLAS A LA ENTRANTE Y VACIANTE (vientos o corrientes actuando en la misma dirección pero alternativamente en sentidos opuestos)</b> .....	406
I.23.	<b>FONDEAR UN BUQUE CON DOS ANCLAS A BARBAS DE GATO (vientos o corrientes en cualquier dirección, preferentemente transversales a la alineación de las anclas)</b> .....	407
I.24.	<b>SALIR DE UN FONDEADERO CON UN SOLO ANCLA (Tiempo calmo: condiciones climáticas que no afectan significativamente a la maniobra) o con viento</b> .....	408
<b>ANEJO II.</b>	<b>ASPECTOS TECNICOS DE LA RESOLUCION A.572 (14) DE LA OMI</b> .....	409
II.1.	<b>OBJETIVOS</b> .....	417

<b>II.2</b>	<b>DEFINICIONES</b> .....	417
<b>II.3.</b>	<b>METODOS</b> .....	419
<b>II.4.</b>	<b>PLANIFICACION</b> .....	426
<b>II.5.</b>	<b>CRITERIOS DE CONCEPCION</b> .....	427
<b>II.6.</b>	<b>AJUSTES TEMPORALES DE LOS DISPOSITIVOS DE SE- PARACION DEL TRAFICO</b> .....	429
<b>II.7.</b>	<b>UTILIZACION DE LOS SISTEMAS DE ORGANIZACION DEL TRAFICO</b> .....	431
<b>II.8.</b>	<b>REPRESENTACION EN LAS CARTAS</b> .....	432



## INTRODUCCION

---

Las Recomendaciones para el «Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Áreas de Flotación» (ROM 3.1-99), se inscriben en el Programa ROM de Recomendaciones de las Obras Marítimas emprendido por Puertos del Estado. El programa se inició en 1987 con la constitución de la primera Comisión Técnica. El mandato de la misma era redactar un conjunto de recomendaciones que reunieran la tecnología más avanzada en el campo de la ingeniería marítima y portuaria y que se constituyeran en instrumento técnico para proyectistas, supervisores y constructores, facilitando a los distintos entes del Estado y a las empresas privadas con competencias o intereses en la ingeniería marítima el fácil acceso a la información especializada necesaria para el desarrollo de los trabajos.

La formación de Comités Técnicos con algunos de los especialistas más reconocidos en cada campo de la ingeniería marítima y portuaria, garantiza el proceso como mecanismo para la consolidación de la experiencia y tecnología portuarias existentes en España, y como punto de partida para desarrollos futuros.

Hasta la fecha, la ROM se ha convertido en un instrumento de uso generalizado por parte de las Autoridades Portuarias, Gobiernos Autónomos, organismos y empresas con intereses en la ingeniería marítima, así como en las Escuelas de Ingeniería Civil Españolas. Su difusión tiene actualmente un alcance internacional, sobre todo en Europa y Latinoamérica, al servir a algunas de las Autoridades Portuarias y Organismos con competencias portuarias de otros países como documentos base para la definición de los criterios técnicos y niveles de calidad y de seguridad exigibles en sus obras de infraestructura.

Desde la edición en 1990 de la primera Recomendación del Programa ROM, se han publicado y están en vigor las siguientes Recomendaciones:

- ROM 0.2-90. Acciones en el Proyecto de Obras marítimas y Portuarias\*.
- ROM 0.3-91. Acciones Climáticas I: Anejo I: Clima Marítimo en el Litoral Español\*.
- ROM 0.4-95. Acciones Climáticas II: Viento.
- ROM 0.5-94. Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas\*.
- ROM 3.1-99. Recomendaciones para el Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Áreas de Flotación.
- ROM 4.1-94. Recomendaciones para el Proyecto y Construcción de Pavimentos Portuarios\*.

La ROM 3.1-99 para el «Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Áreas de Flotación» ha sido redactada por la Comisión Técnica designada al efecto por la Presidencia de Puertos del Estado, bajo responsabilidad orgánica de la Dirección de Planificación y Control de Gestión. Los miembros de dicha Comisión y los organismos a los que pertenecen son los siguientes:

<b>Presidente:</b>	José Luis Estrada	Puertos del Estado
<b>Secretaría del Programa:</b>	José Llorca Ortega	Puertos del Estado
<b>Asesor del Programa:</b>	Francisco Esteban Rguez. Sedano	Puertos del Estado
<b>Ponencia:</b>	Carlos Sanchidrián	ALATEC, S. A.

---

\* Disponible en versión inglesa.

<b>Vocales:</b>	Arturo Aguado	Puertos del Estado
	Antonio Baquero Mayor	Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo, Ministerio de Defensa
	Daniel Blanco	Autoridad Portuaria de Avilés
	Rufino Bocanegra	Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras
	Luis Francisco Burgos	Dirección General Marina Mercante
	Manuel Gravalos	Asociación Europea de Prácticos
	José Ramón Iribarren	Centro de Estudios de Puertos y Costas-CEDEX
	Ramón Juanola	Autoridad Portuaria de Tarragona
	Jaime Lobo	Autoridad Portuaria de Huelva
	Antonio Molinero Gutiérrez	Dirección General Marina Mercante
	Carlos París	Dragados y Construcciones, S. A.
	Antonio Pérez	Autoridad Portuaria de Barcelona
	Eloy Pita Carpenter	Puertos del Estado
	Javier Rodríguez Besné	Puertos del Estado
	Antonio Semprún	Argonia
	Pedro Vindel	Autoridad Portuaria de Cartagena
Javier Uzcanga	Autoridad Portuaria de Bilbao	

La ROM 3.1-99 de Recomendaciones para el «Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Áreas de Flotación» refuerza la operatividad portuaria como elemento de referencia básico, junto a la seguridad, a la hora de establecer los criterios de dimensionamiento, proyecto y construcción de obras marítimo-portuarias. Para ello, se hace hincapié en los factores, acciones y efectos que afectan a la maniobrabilidad de los buques en aguas portuarias, desde dos vertientes:

- Desde la vertiente del propio buque, se establecen los parámetros necesarios para definir el Buque de Proyecto y los factores propios que inciden en su maniobrabilidad, en particular, su sistema de propulsión, las acciones del timón, amarras, anclas y cadenas y otras características relevantes de masa e inercia.
- Desde la vertiente del medio físico, se establecen las pautas para determinar las acciones y efectos del viento, la corriente y el oleaje, así como los efectos de los temporales, las bajas profundidades, la succión y rechazo de las orillas y el cruce de buques.

Por su parte, la importancia que tienen los remolcadores en la operativa portuaria y consiguientemente en el diseño en planta y alzado de las zonas de maniobras, ha exigido dedicar un capítulo específico a los mismos, en el que, junto a los elementos característicos y sistemas de propulsión de los remolcadores, se fijan los procedimientos para calcular las acciones de remolque y las necesidades de los mismos a lo largo del proceso de llegada o salida de buques a un puerto, en función de la dimensión de las dársenas y las condiciones límite de operatividad adoptadas.

La acción conjunta de los factores que caracterizan al buque y a su entorno condiciona su curva evolutiva y obliga a un estudio de maniobras que la presente ROM 3.1-99 fija en tres fases: un conocimiento inicial del problema que se plantea para la maniobra, la selección de las maniobras más adecuadas y el estudio de situaciones de emergencia. La consideración de este proceso de caracterización de la maniobrabilidad es básica para fijar los requerimientos en alzado y en planta de la configuración marítima de los puertos.

Desde el punto de vista del alzado, la ROM 3.1-99 fija los requerimientos básicos para las profundidades de agua en las Áreas de Navegación y Flotación, en función de los factores relacionados con el buque, e nivel de aguas y el fondo marino. Asimismo, se establecen también requerimientos para gálibos aéreos sobre áreas de flotación, determinados de manera que permitan la navegación o permanencia de los buques en condiciones de seguridad y para los niveles de coronación de muelles, atendiendo a criterios debidos al nivel de las aguas y de operación de los buques y explotación portuaria en general.

Por su parte, la configuración marítima en planta recoge los criterios para la definición geométrica en planta de las Áreas de Navegación y Flotación de los puertos y otras instalaciones portuarias, ya sean marítimas, fluviales o lacustres. En particular, en función de todos los factores, acciones y efectos considerados, y teniendo en cuenta además las disposiciones generales establecidas al respecto por la Organización Marítima Internacional (OMI), se fijan requerimientos para las siguientes Áreas de Navegación y Flotación:

- Vías de navegación, que comprenden las rutas de navegación, canales de acceso y canales interiores.
- Bocanas de puertos.
- Áreas de maniobras, comprendiendo las zonas necesarias para la parada y el reviro del buque.
- Fondeaderos y antepuertos.
- Amarraderos y campos de boyas.
- Dársenas y muelles.
- Áreas de emergencia.
- Instalaciones especiales (astilleros, esclusas...).

En términos generales, la línea de modernidad con que se afrontan las presentes Recomendaciones tiene su justificación en la necesidad de perfeccionar un modelo de valoración de la seguridad/riesgo para la obra marítimo-portuaria, que contribuya a fijar criterios cada vez más afinados, en función de la información disponible. Concretamente, el establecimiento de los requisitos mínimos de seguridad responde a una valoración del riesgo que exige la incorporación progresiva de modelos estadísticos para el análisis de funciones multivariantes y el empleo de modelos de simulación que representen con fidelidad la casuística real de la maniobrabilidad de los buques, en función de sus propias características y de las acciones externas que recibe.

En este sentido, la ROM 3.1-99 incorpora un capítulo dedicado a los modelos numéricos y simuladores de maniobra de buques en el que, además de presentarse el estado del conocimiento en esta materia, se analiza su aplicabilidad recomendándose una metodología de empleo de simuladores. Con ello, la ROM 3.1-99 propicia el desarrollo tecnológico, sin menoscabo de recomendar el cumplimiento de unos requerimientos mínimos generales, que deben ser entendidos como «Guía de Buena Práctica» y que, en cualquier caso, no eximen del cumplimiento de otras Normas o Códigos de carácter oficial que pudieran ser de aplicación.

Habida cuenta del fuerte desarrollo tecnológico asociado en particular al campo de la navegación y maniobrabilidad de los buques en aguas portuarias y, en general, a la construcción de modelos probabilísticos y de simulación, este documento se encuentra abierto desde ahora a todas aquellas revisiones que sean necesarias una vez se tenga experiencia probada y contrastada de aplicación o se produzcan avances significativos en el «Estado de Conocimiento». En este sentido, se ofrece la posibilidad de hacer llegar a PUERTOS DEL ESTADO todos aquellos comentarios o sugerencias que se tengan acerca del contenido de las presentes Recomendaciones, a través de la iniciativa EROM, vigente desde el año 1998. La finalidad de esta iniciativa es precisamente consolidar una publicación técnico-científica de carácter semestral, como foro abierto y permanente de intercambio de información y discusión técnica sobre los contenidos, experiencia de aplicación y desarrollo futuro de los documentos ROM publicados hasta la fecha. En cualquier caso, todas aquellas observaciones que se necesiten sobre el programa ROM deberán ser dirigidas a:

**ÁREA DE DESARROLLO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA  
DIRECCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS Y SERVICIOS PORTUARIOS**

**PUERTOS DEL ESTADO**  
Avda. del Partenón, 10  
Campo de las Naciones  
28042 MADRID

Tel.: 91 524 55 00  
Fax: 91 525 55 04

Madrid, junio de 2000.







<b>1.1. AMBITO DE APLICACION .....</b>	<b>23</b>
<b>1.2. CONTENIDO .....</b>	<b>23</b>
<b>1.3. DEFINICIONES .....</b>	<b>24</b>
<b>1.4. SISTEMAS DE UNIDADES .....</b>	<b>37</b>
<b>1.5. NOTACIONES .....</b>	<b>37</b>
<b>1.6. REFERENCIAS DOCUMENTALES .....</b>	<b>37</b>





1.1. Notaciones, abreviaturas y símbolos convencionales fundamentales  
utilizados en estas Recomendaciones ..... 42



**1.1. AMBITO DE APLICACION**

Las Recomendaciones para el "Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Areas de Flotación" (ROM 3.1) serán de aplicación en todas las obras marítimas y portuarias cualesquiera que sea su clase o destino.

A estos efectos se considerarán Obras Marítimas y Portuarias aquellas estructuras, elementos estructurales o movimientos de tierra ubicados en zonas portuarias marítimas o fluviales, o en cualquier otra pertenencia del dominio público marítimo-terrestre, siempre que permanezcan en situación estacionaria en fase de servicio, tanto en forma fija como flotante, y se considerarán Accesos y Áreas de Flotación a todos los espacios de agua en los que puedan desarrollarse operaciones de barcos relacionadas con el tráfico marítimo o fluvial de dichas obras Marítimas y Portuarias.

**1.2. CONTENIDO**

Las presentes Recomendaciones resumen los criterios necesarios para la definición, proyecto y establecimiento de criterios de operación de todos los Accesos y Áreas de Flotación relacionados con las obras marítimas y portuarias, pudiendo ser aplicables a cualquier emplazamiento con independencia de cuales sean sus condiciones locales y climáticas.

Para cubrir estos aspectos la Recomendación 3.1 se estructura en 9 partes, con el contenido siguiente:

Parte 1.—General. Incluye los aspectos generales necesarios para la correcta aplicación y comprensión de la Recomendación: ámbito de aplicación, resumen general de su contenido, definiciones, unidades utilizadas, notación, simbología y documentación de referencia.

Parte 2.—Criterios Generales de Proyecto. Se definen y delimitan las distintas fases de proyecto e hipótesis de trabajo a considerar en el dimensionamiento de los Accesos y Areas de Flotación, los criterios para la determinación de la Vida Útil de las diferentes fases, la identificación de los elementos que definen un Area de Navegación o Flotación, los criterios de dimensionamiento, los criterios de valoración de las dimensiones geométricas y la valoración de los Casos Accidentales.

Parte 3.—Características de maniobrabilidad de los buques. Se recogen en este capítulo el análisis de todas las características propias de los buques que influyen en su maniobrabilidad, ya sean sus dimensiones geométricas y de desplazamiento, como los sistemas de propulsión, máquinas, hélices, timones, amarras, anclas y cadenas. Se incluye asimismo el análisis de las características de masa e inercia que afectan al movimiento.

Parte 4.—Acciones externas sobre el buque. Se analizan en este capítulo los efectos de los vientos, oleajes y corrientes en la maniobrabilidad de los buques, así como la incidencia en estas condiciones de maniobra de las bajas profundidades, de la proximidad a las márgenes o de la interacción con otros barcos amarrados o en navegación. Asimismo se incluye la evaluación de las acciones externas producidas por los vientos, oleajes y corrientes sobre los buques, siguiendo los criterios básicos establecidos en la ROM 02. Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias.

Parte 5.—Remolcadores. Incluye este capítulo la definición de las funciones y tipos de remolcadores y el análisis de sus sistemas más habituales de propulsión y gobierno. Se estudian las características principales de estas embarcaciones en términos de maniobrabilidad, estabilidad y potencia. Se analizan las formas de actuación de los remolcadores y la acción de los mismos sobre el buque estableciéndose criterios para

determinar las necesidades de remolcadores. Finalmente se analizan los elementos principales de remolque (chigres, bitas, ganchos, cables de remolque, etc).

Parte 6.—Navegación y maniobras de buques. Se analizan en este capítulo dos maniobras fundamentales del buque, sobre las que se basará el dimensionamiento de algunas de las Areas de Navegación y Flotación objeto de esta ROM: la curva evolutiva del buque o maniobra que realiza a potencia y ángulo de timón constante, y la extinción de la arrancada, que es la maniobra que se efectúa para parar el buque. Se introduce asimismo la metodología general de análisis de otro tipo de maniobras, cuya descripción en mayor detalle se ha recopilado en el Anejo n° 1 de esta ROM, con objeto de evitar un tratamiento extensivo y desequilibrado de este capítulo.

Parte 7.—Requerimientos en alzado. Se recogen en este capítulo los criterios para la determinación de las profundidades de agua y gálibos aéreos requeridos en las diferentes áreas de navegación y flotación, considerando tanto los factores relacionados con el buque (trimados, resguardos para movimientos del buque por vientos, oleajes, corrientes y cambios de rumbo, resguardos para seguridad y control de la navegación, etc) como los relacionados con el nivel de las aguas (mareas astronómicas y meteorológicas, resonancia por fenómenos de ondas largas, regímenes fluviales, etc, y los que dependen del fondo (imprecisiones de la batimetría, depósitos de sedimentos y tolerancia de ejecución del dragado). Asimismo se incluyen en este capítulo las recomendaciones sobre el nivel de coronación a adoptar en los muelles.

Parte 8.—Requerimiento de planta. Se recogen en este capítulo los criterios para la definición geométrica en planta de las siguientes áreas de navegación y flotación: Vías de Navegación, Bocanas de puertos, Areas de Maniobra, Fondeaderos, Amarraderos y campos de boyas, Dársenas y Muelles. Asimismo se recogen los valores que vienen utilizándose habitualmente como condiciones límites de las variables climáticas para las diferentes maniobras de navegación de acceso, reviro, atraque, permanencia y salida de los buques de los puertos e instalaciones similares, valores de los que dependen las dimensiones de las áreas de navegación y fondeo. Estos valores, en el supuesto de que se adopten, o los que en cada caso particular se establezcan, deberán quedar incorporados a las Normas de operación o explotación del puerto o instalación que se considere. Finalmente se incluyen recomendaciones sobre el balizamiento a establecer en las diferentes Areas.

Parte 9.—Simulación y ensayos en modelo reducido. Se recogen en este capítulo los principios generales, la formulación matemática y los criterios aplicables para la utilización de los simuladores y ensayos en modelo reducido en el análisis de maniobras y definición de las Areas objeto de esta ROM.

Adicionalmente a estas 9 partes se incluyen dos Anejos:

El Anejo I recoge un fichero de las maniobras que se utilizan más habitualmente en la operación de buques. El conocimiento de estas maniobras se estima accesorio para entender por qué se especifican determinados requerimientos de espacio en unas y otras áreas y por qué se asocian a determinadas condiciones climáticas Límites de Operación. Aunque es factible dimensionar las Areas de Navegación y Flotación sin saber cómo se comporta el buque, parece obvio que el conocimiento de estas maniobras conducirá a comprender mejor el fundamento de estas especificaciones, conocimiento que será imprescindible en caso de recurrir a técnicas de simulación, porque en los modelos, a fin de cuentas, lo que se hará es reproducir las maniobras que se presentan en la realidad.

El Anejo II recoge los aspectos técnicos contenidos en las Disposiciones Generales sobre la Organización de Tráfico Marítimo publicadas por la Organización Marítima Internacional (OMI).

### **1.3. DEFINICIONES**

A los efectos de la presente Recomendación se definen expresamente los siguientes términos fundamentales más comúnmente utilizados. Estos y otros términos serán generalmente definidos y explicados más detalladamente en aquellos apartados de esta Recomendación en los que se introducen en el texto.

#### ***Abarloar***

Situar un buque de manera que su costado esté casi en contacto con el de otro buque o con un muelle.

**Abatir**

Separarse un buque de su rumbo por efecto del viento, oleaje o de la corriente. Generalmente se utiliza el término «abatir» cuando la separación es debida al viento y «derivar» cuando es ocasionada por la corriente.

**Aleta**

Parte de los costados del buque donde éste se empieza a curvar para formar la popa.

**Alteada**

Movimiento de un buque consistente en un desplazamiento global del mismo en la dirección de su eje vertical principal que pasa por el centro de gravedad.

**Amarrar**

Sujetar el buque por medio de anclas, cadenas o amarras. Cuando se utilizan solamente cadenas y anclas la operación se denomina generalmente «fondear».

**Amarradero**

Sitio donde se amarran los buques.

**Amura**

Parte de los costados del buque, donde éste empieza a estrecharse para formar la proa.

**Ancla**

Pieza de hierro o acero compuesta de una barra o caña, brazos y uñas dispuestas para aferrarse al fondo del mar y que, unida al barco mediante un cabo o una cadena, sirve para sujetar la nave.

**Angulo de ceñida**

Angulo que forma el plano de crujía con la dirección de actuación del viento, cuando se navega en ceñida.

**Angulo de deriva**

Angulo que forma el plano de crujía con la ruta de navegación seguida por un barco.

**Areas de buques en permanencia**

Areas destinadas fundamentalmente a la permanencia o estancia de los buques (fondeaderos, amarraderos, dársenas, muelles, atraques, terminales, etc).

**Areas de buques en tránsito**

Areas destinadas fundamentalmente al tránsito de los buques (accesos, vías de navegación, canales, bocanas, áreas de maniobras, etc).

**Accesos y Areas de Flotación**

Todos los espacios de agua en los que puedan desarrollarse operaciones de barcos relacionadas con e tráfico marítimo de las Obras Marítimas y Portuarias.

**Areas de Flotación**

Areas destinadas fundamentalmente a la permanencia de los buques.

**Areas de Maniobra**

Areas en las que se realiza la parada, arrancada o reviro del buque.

**Areas de Navegación**

Areas destinadas fundamentalmente al tránsito de los buques.

**Areas de Reviro**

Areas en las que se produce el cambio de rumbo del buque sin avances significativos en ninguna dirección.

**Arganeo del ancla**

Argolla de hierro o acero situada en el extremo superior de la caña del ancla, a la que se afirma la cadena.

**Arqueo**

Medida del volumen interior de los espacios cerrados de un buque.

**Arribar**

Aumentar el ángulo que toma el plano de crujía con el viento. Llegar el buque a un puerto.

**Asiento (Trimado)**

Diferencia entre el calado de un buque a proa y el calado a popa.

**Atracar**

Maniobra de arrimarse a un muelle y amarrarse a él.

**Avance**

Avance de un buque para un cambio de rumbo es la distancia que se desplaza su centro de gravedad en la dirección del rumbo original, medida desde la posición donde se puso timón a la banda.

**Babor**

Es el nombre del costado o banda del buque que queda a la izquierda mirando hacia proa.

**Balance**

Movimiento del buque consistente en un giro alrededor del eje longitudinal principal situado en el plano de crujía y que pasa por el centro de gravedad.

**Balizamiento**

Acción y efecto de señalar con balizas algún paraje en aguas navegables.

**Banda**

Costado del buque.

**Bitá**

Equipo de amarre, generalmente de acero o fundición, que colocado en cubierta en los lugares de maniobra, sirve para afirmar los cabos de amarre.

**Bocana de un puerto**

Boca de entrada y salida a un puerto.

**Buque de Proyecto**

Es el buque o conjunto de buques que se utilizarán para el dimensionamiento de los accesos y áreas de flotación objeto de esta ROM; en general se tratará de los buques de mayores exigencias que puedan operar en la zona que se considere, según las condiciones de operación de la misma, suponiendo que el barco se encuentre en las condiciones de carga más desfavorables.

**Cabeceo**

Movimiento del buque consistente en un giro alrededor del eje horizontal principal perpendicular al plano de crujía que pasa por su centro de gravedad.

**Cadena de ancla**

Tramo de cadena afirmado al ancla.

**Calado de un buque**

Distancia vertical medida desde el centro bajo de la quilla de un buque hasta la línea de flotación.

**Calado estático de un buque**

Calado de un buque en reposo.

**Campo de boyas**

Instalaciones en las que los buques permanecen amarrados a boyas u otros elementos fijos o flotantes, diferentes de los muelles y en los que pueden realizarse operaciones típicamente portuarias.

**Carrera de un régimen hidráulico**

Diferencia del nivel del agua entre los valores correspondientes al  $N_{\max}$  RH y el  $N_{\min}$  RH.

**Carril de navegación**

Ver Vía de Circulación.

**Casos Accidentales**

Supuestos de carácter fortuito o anormal que pueden presentarse como resultado de un accidente, mal uso, errores humanos o condiciones climáticas o de trabajo excepcionales.

**Ceñir**

Recibir el viento con el menor ángulo posible (entre 0 y 6 cuartas desde la proa).

**Cierre de un Area**

Condición de inoperatividad total o parcial en la que se encuentra un Area por presentarse condiciones climáticas superiores a las establecidas como Condiciones Límites de Operación.

**Coeficiente de bloque**

Cociente entre el desplazamiento de un buque expresado en peso y el producto de los factores siguientes: eslora entre perpendiculares x manga x calado del buque x peso específico del agua.

**Coeficiente de Marea**

Relación entre la altura de una marea en un punto y la Unidad de Altura de las mareas en dicho punto.

**Condiciones Excepcionales**

Estado en que las Areas de Navegación o Flotación están sometidas, como consecuencia de accidentes, mal uso o condiciones climáticas o de trabajo excepcionales, a limitaciones extraordinarias no usuales aunque si previsibles.

**Condiciones Extremas**

Estado en el que las Areas de Navegación o Flotación tienen que paralizar o limitar su operatividad mientras subsistan acciones climáticas superiores a los límites de operación o explotación.

**Condiciones Límites de Operación**

Valores de las variables climáticas a partir de las cuales deben paralizarse total o parcialmente determinadas operaciones de buques.

### **Condiciones Normales de Operación**

Estado en el que un Área de Navegación o Flotación funciona sin limitaciones, no viéndose afectada por las condiciones climáticas.

### **Confluencia de giro**

Medida de organización del tráfico que comprende un punto de separación o una zona de separación circular y una vía de circulación giratoria dentro de límites definidos. Dentro de la confluencia de giro el tráfico se separa desplazándose en dirección contraria a las manecillas del reloj alrededor del punto de la zona de separación.

### **Codaste**

Pieza que unida al extremo de la quilla en la parte de popa, sirve de fundamento a todo el armazón de esta parte del buque, configurando la popa.

### **Costado**

Cada uno de los dos lados del casco del buque; el derecho mirando a proa se llama estribor, y el izquierdo, babor.

### **Crujía**

Plano de crujía.

### **Curva Evolutiva**

Trayectoria descrita por el centro de gravedad de un buque, cuando se le hace girar manteniendo un régimen de máquinas y un ángulo de timón constante.

### **Dársena**

Parte de las aguas navegables de un puerto resguardada artificialmente de las aguas exteriores, para permitir la operación de los buques (carga y descarga, reparaciones, etc).

### **Deriva**

Movimiento de un buque consistente en un desplazamiento global del mismo en la dirección de su eje horizontal principal perpendicular al plano de crujía pasando por su centro de gravedad. Aunque este término es sinónimo de «abatimiento», generalmente se aplica cuando el movimiento es producido por la acción de una corriente.

### **Derrota**

Rumbo o dirección que llevan los barcos en su navegación.

### **Derrota de dos direcciones**

Derrota claramente delimitada, dentro de la cual se establece el tráfico en ambas direcciones, destinada a proporcionar a los buques tránsito seguro por aguas en que la navegación es difícil o peligrosa.

### **Derrota en aguas profundas**

Derrota claramente delimitada que ha sido hidrografiada con precisión para determinar las sondas y la posible presencia de obstáculos sumergidos, tal como se indica en la carta.

### **Derrota recomendada**

Derrota en anchura indefinida, destinada a facilitar la navegación a los buques en tránsito y frecuentemente marcada por boyas en la línea axial.

### **Desatracar**

Maniobra para separarse de un muelle.

### **Descuello**

Distancia entre dos buques amarrados a una misma alineación de un muelle, medida por su proyección sobre el eje longitudinal del muelle.



**Desplazamiento**

Peso del volumen de agua desalojado por el buque en una determinada flotación.

**Desplazamiento en lastre**

Peso de un buque incluyendo pertechos, provisiones, tripulación, combustible y agua. No lleva carga pero si e mínimo peso de lastre para que el buque pueda navegar y maniobrar con seguridad.

**Desplazamiento en rosca**

Peso total de un buque según sale del astillero, sin pertechos, provisiones, tripulación, combustible y agua. En estas condiciones el buque no puede navegar.

**Desplazamiento máximo**

Peso total del buque cuando está cargado a la máxima carga permitida.

**Desviación lateral**

Desviación lateral de un buque para un cierto cambio de rumbo es la distancia que se desplaza su centro de gravedad en dirección perpendicular al rumbo original.

**Dique seco**

Cavidad practicada bajo el nivel del mar dentro de la que se pueden introducir uno o varios buques para, una vez puestos en seco, proceder a realizar cualquier trabajo que no se pueda realizar bajo el agua (reparación, construcción, limpieza, etc).

**Dirección establecida del tráfico**

Una representación del tráfico que indica el sentido de éste, según lo establecido dentro de un dispositivo de separación del tráfico.

**Dirección recomendada del tráfico**

Una representación del tráfico que indica el sentido recomendado de éste donde no es práctico o es innecesario adoptar una dirección establecida del tráfico.

**Dispositivo de separación de tráfico**

Medida de organización del tráfico destinada a separar corrientes de tráfico opuestas por medios adecuados o mediante el establecimiento de vías de circulación.

**Distancia de parada**

Espacio avante recorrido por el buque en una maniobra de parada contado desde el momento en que se inicia la maniobra.

**Duración**

Duración de un determinado valor umbral de una variable en el tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos de su valor por el umbral prefijado.

**Eje de circulación recomendado**

Derrota que ha sido especialmente inspeccionada para garantizar, en la medida de lo posible, que está libre de peligros y por la cual se aconseja a los buques navegar.

**Escoben**

Agujeros situados a uno y otro lado de la roda de un buque por donde pasan los cables o cadenas que sujetan el ancla, y en donde queda varada la caña del ancla.

**Esclusa**

Recinto dotado de puertas de entrada y salida que se construye en un canal de navegación para que los barcos puedan pasar de un tramo a otro de diferente nivel de agua, llenando o vaciando de agua el espacio comprendido entre las dos puertas.

**Escora**

Inclinación que toma un buque con respecto a un eje longitudinal situado en el plano de crujía pasando por su centro de gravedad.

**Eslora entre perpendiculares**

Distancia medida sobre el plano de crujía entre la perpendicular de proa (línea vertical trazada por la intersección de la flotación en la condición de máxima carga de verano y el canto de proa) y la perpendicular de popa (que puede ser la vertical tomada por la intersección de la flotación en la condición de máxima carga de verano con la mecha del timón o con el contorno de popa del buque o con el contorno del codaste del buque, se gún la sociedad clasificadora. A efectos de esta ROM se considera la 1ª acepción).

**Eslora total**

Longitud máxima del casco del buque medida de proa a popa.

**Estados Límites Últimos**

Modos de fallo (colisión, impactos, varadas, etc) que pueden presentarse en la operación de un buque en las Áreas objeto de esta ROM.

**Estribor**

Es el nombre del costado o banda del buque que queda a la derecha mirando hacia proa.

**Extinción de la arrancada**

La extinción de la arrancada es la maniobra que se efectúa para parar el buque. Si se realiza parando las máquinas se denomina extinción natural y si efectúa con máquinas en marcha atrás se denomina extinción forzada.

**Fase de Construcción**

Período que va desde el comienzo de la construcción del Area de Navegación o Flotación hasta su entrada en servicio.

**Fase de Servicio**

Período que va desde la puesta en servicio del Area de Navegación o Flotación, completa, hasta su inutilización, abandono o cambio de uso.

**Franco bordo**

Altura de la parte emergida del casco del buque desde la línea de flotación hasta la cubierta principal, medida en las bandas en la cuaderna maestra.

**Fondeadero**

Paraje de profundidad y condiciones suficientes para que un barco pueda dar fondo y quedar fijado por mediación de sus anclas.

**Fondear**

Maniobra de dejar caer el ancla al fondo para asegurar una embarcación.

**Gálibo**

Espacio aéreo libre necesario para la navegación de los buques.

**Garrear**

Arrastre de un ancla por el fondo del mar cuando no se ha hecho firme en el terreno.

**Guiñada**

Movimiento de un buque consistente en un giro alrededor del eje vertical principal que pasa por su centro de gravedad. Desviación de la proa del buque hacia un lado u otro del

rumbo a que se navega. Variación de la dirección de la proa de un buque cuando está fondeado.

### ***Hélice***

Conjunto de aletas helicoidales que giran alrededor de un eje y que al girar producen un empuje que hace mover al buque.

### ***Hélice transversal***

Hélice situada transversalmente al plano de crujía del buque, emplazada dentro de un túnel que atraviesa la obra viva del buque en las proximidades de la proa o la popa.

### ***Límite de marea***

Punto situado en un río en el que se anula el efecto de las mareas.

### ***Línea de separación***

Zona o línea que separa vías de circulación de buques que navegan en direcciones opuestas o casi opuestas; o que separa una vía de circulación de la zona marítima adyacente; o que separa vías de circulación designadas para determinadas clases de buques que navegan en la misma dirección.

### ***Maniobra de parada***

Maniobra que se efectúa para parar el buque. Ver extinción de la arrancada.

### ***Manga***

Anchura mayor del buque.

### ***Mantenimiento***

Fase en la que se realizan obras para conservar los requerimientos de espacios de agua o aéreos de las Areas de Navegación y Flotación.

### ***Manuales de Operación***

Procedimientos simplificados que facilitan la aplicación de las Normas de Operación a un Area concreta.

### ***Marea astronómica***

Marea debida a las atracciones gravitatorias de la luna, el sol y demás cuerpos astrales. Su intensidad está en íntima relación con la posición relativa que el sol y la luna tienen respecto a la tierra.

### ***Marea astronómica no significativa***

Marea astronómica cuya Unidad de Altura es igual o menor de 0,50 m.

### ***Marea astronómica significativa***

Marea astronómica cuya Unidad de Altura es mayor de 0,50 m.

### ***Marea meteorológica***

Cambios en la profundidad de agua en un punto debidos a variaciones de la presión atmosférica, así como a los producidos por la acción del viento.

### ***Masa añadida***

Masa de agua que se desplaza con el buque en su movimiento.

### ***Método determinístico***

Método de dimensionamiento basado en la utilización de tablas o formulaciones matemáticas que conducen a un resultado concreto y cierto, no asociado a probabilidades de presentación.

**Método semiprobabilístico**

Método de dimensionamiento basado en el análisis estadístico de datos que conducen a resultados asociados a probabilidades de presentación.

**Muelle**

Obra de fábrica construida en la orilla del mar o de un río navegable que sirve para facilitar la carga y descarga de los buques y otro tipo de operaciones.

**Nivel cero del puerto**

Nivel de referencia que se suele utilizar con carácter local en cada puerto y que habitualmente no coincide con el nivel cero de los planos topográficos de ámbito general ni con el de las cartas náuticas.

**Nivel máximo de las aguas exteriores en condiciones de operación**

Nivel máximo esperable de las aguas en condiciones de operación, tomando en consideración las mareas astronómicas y meteorológicas y los regímenes fluviales, en su caso.

**Nivel medio de Operación de las aguas libres exteriores**

Nivel medio de las aguas tomando en consideración las mareas astronómicas y meteorológicas y los regímenes fluviales, en su caso.

**Normas de Operación**

Normas que regulan las operaciones náuticas (y por extensión otros tipos de operaciones) a realizar en las Areas de Navegación y Flotación objeto de esta ROM.

**Obra muerta**

Parte del casco de un buque, que está por encima de la línea de flotación.

**Obra viva**

Parte del casco de un buque, que está por debajo de la línea de flotación.

**Onda de Marea**

Diagrama que relaciona las variaciones de la profundidad de agua en un punto debidas a la acción de la marea con el tiempo.

**Ondas largas**

Ondas generalmente de pequeña amplitud en mar abierto y gran período (>20-30 s.) producidas por la presión atmosférica, variaciones bruscas del viento o por la existencia de grupos de olas.

**Orzar**

Llevar la proa hacia el viento.

**Pantalán**

Muelle que avanza en el mar.

**Par adrizante**

Momento de fuerzas que tienden a que el buque recupere la estabilidad transversal volviendo a su posición de equilibrio.

**Período de Marea**

Intervalo de tiempo que transcurre entre el paso de dos cruces ascendentes del nivel de agua en la onda de marea con el nivel medio del mar.

**Plano de crujía**

Plano vertical longitudinal que pasa por el medio del buque de proa a popa.

**Proa**

Parte delantera de un buque.

**Potencia al freno**

Potencia del propulsor de un buque medida en la brida de acoplamiento de salida de la máquina durante las pruebas en banco.

**Popa**

Parte trasera de un buque.

**Probabilidad de excedencia**

Probabilidad de que una variable exceda de un valor determinado.

**Profundidad de agua**

Altura de agua existente en un área.

**Profundidad nominal**

Profundidad mínima de agua requerida en una zona para el Buque de Diseño.

**Propulsor**

Mecanismo de un buque que genera la fuerza de empuje necesaria para el movimiento.

**Puntal**

Altura del casco del buque desde la quilla hasta la cubierta principal, medida en las bandas en la cuaderna maestra.

**Punto giratorio**

Punto situado en el plano de crujía de un buque en el que el vector velocidad está dirigido en todo momento según el plano de crujía.

**Quilla**

Pieza longitudinal en la parte más inferior del casco del buque, que corre de proa a popa y de la que arrancan las cuadernas.

**Racon**

Abreviatura de Radar Responder Beacon. Sistema activo de reflejo de las ondas del radar, que, al recibirlas, emite una señal radioeléctrica, generalmente una letra del alfabeto Morse, que identifica el faro, baliza o lugar donde está instalado.

**Régimen de duraciones**

Régimen de duraciones de una variable es la función de distribución de la «duración» de la variable en un intervalo de tiempo (año, estación, mes, etc). Ver duración.

**Régimen de excedencias**

Régimen de excedencias de una variable es la función de distribución que relaciona los valores máximos previsibles de una variable con su probabilidad de no excedencia en un período determinado.

**Régimen extremal**

Régimen extremal de una variable es la función de distribución del valor extremo de la variable, considerando un solo valor representativos del intervalo de tiempo considerado.

**Régimen hidráulico significativo**

Régimen hidráulico cuya carrera sea mayor de 1.00 m.

**Régimen hidráulico no significativo**

Régimen hidráulico cuya carrera sea igual o menor de 1.00 m.

**Régimen medio**

Régimen medio de una variable es la función de distribución de la variable en un intervalo de tiempo (año, estación, mes, etc).

**Remolcador**

Embarcación auxiliar para la navegación y maniobras de los buques y otros elementos flotantes.

**Resguardo de Seguridad**

Valor en el que debe incrementarse al dimensionamiento efectuado, para tomar en consideración efectos no previstos en el cálculo.

**Resguardo de Seguridad aplicado a una dimensión**

Cuantificación del Resguardo de Seguridad cuando se trata de una dimensión geométrica. En esta ROM este Resguardo de Seguridad se determina mediante un factor adicional y no mediante un coeficiente multiplicador.

**Riesgo admisible**

Probabilidad de que se produzca al menos un fallo (contacto, varada, impacto o colisión) de al menos un buque durante la vida útil de la fase del proyecto que se analice.

**Riesgo de destrucción total**

Riesgo de presentación de daños que afecten significativamente a la operatividad del área que se considere.

**Riesgo de inicio de averías**

Riesgo de presentación de daños que no afecten significativamente a la operatividad del área que se considere.

**Roda**

Pieza gruesa y curva que forma la proa de la nave.

**Señalización**

Disposición en las Areas de Navegación y Flotación de las señales adecuadas para que sirvan de guía a los usuarios.

**Sistema de organización de tráfico**

Todo sistema constituido por una o más derrotas y/o medidas de organización del tráfico, destinadas a reducir e riesgo de siniestros; comprende dispositivos de separación del tráfico, derrotas de dos direcciones, ejes de circulación recomendados, zonas a evitar, zonas de navegación costera, confluencias de giro, zonas de precaución y derrotas en aguas profundas.

**Superficie de isocarena**

Superficie formada por la intersección del plano correspondiente al nivel de agua de flotación y el casco del buque.

**Tenedero**

Fondos del mar en los que pueden hacerse firmes las anclas de los buques.

### ***Tiempo de inoperatividad***

Tiempo durante el cual un Área permanece total o parcialmente fuera de servicio para determinadas operaciones de buques, por presentarse condiciones climáticas superiores a las establecidas como Condiciones Límites de Operación.

### ***Timón***

Pieza de forma sensiblemente plana situada en el codaste de una nave, que al poder girar formando un ángulo con el plano de crujía, sirve para gobernar el buque.

### ***Tiro a punto fijo (bollard pull)***

Fuerza horizontal que puede aplicar un remolcador trabajando avante en el supuesto de velocidad nula de desplazamiento.

### ***Tracción a punto fijo***

Ver tiro a punto fijo.

### ***Transit***

Sistema de posicionamiento de los buque por procedimientos radioeléctricos.

### ***Trimado (Asiento)***

Diferencia entre el calado de un buque a proa y el calado a popa.

### ***Trimado dinámico***

Incremento adicional del calado de un buque en relación con el nivel estático del agua, producido por el movimiento del barco a una velocidad determinada.

### ***Unidad de altura***

Altura de la marea sobre e nivel medio del mar los días de mareas vivas equinociales, cuando la declinación de la luna es nula y ésta y el sol están a sus distancias medias de la tierra.

### ***Vaivén***

Movimiento de un buque consistente en un desplazamiento global del mismo en la dirección del eje horizontal principal situado en el plano de crujía y pasando por el centro de gravedad.

### ***Valor característico de una dimensión***

Valor de la dimensión asociado a una probabilidad de excedencia durante la vida del proyecto.

### ***Valor de combinación***

Valor representativo de una variable cuando se combina con otras de efecto predominante.

### ***Valor nominal de una dimensión***

Valor garantizado de la dimensión correspondiente.

### ***Valor representativo de una dimensión***

Valor de la dimensión asociada a su nivel de variación en el tiempo.

### ***Varar***

Encallar una embarcación.

**Ventana**

Período de tiempo de aguas altas, asociado generalmente a la onda de marea, en los cuales la profundidad de agua en el emplazamiento supera a un valor determinado.

**Vía de Circulación**

Zona claramente delimitada, dentro de la cual se establece el tráfico en dirección única. Los obstáculos naturales, incluidos los que formen zonas de separación, pueden constituir un límite.

**Vía de Navegación**

Ver Vía de Circulación.

**Vida útil**

Duración de la fase de servicio.

**Vida útil de una fase de proyecto**

Duración de la fase de proyecto que se considera.

**Viento aparente**

Viento que recibe el buque cuando está en movimiento y cuya dirección e intensidad son los resultantes del viento real y de una velocidad igual y contraria a la del buque.

**Zona a evitar**

Medida de organización del tráfico que comprende una zona claramente delimitada en la que la navegación es particularmente peligrosa o en la que es excepcionalmente importante impedir que se produzcan siniestros, y que deben evitar todos los buques o ciertas clases de buques.

**Zona de arrancada**

Zonas en las que se produce la arrancada o inicio del movimiento del buque.

**Zona de navegación costera**

Medida de organización del tráfico que comprende una zona especificada entre la costa y el límite más próximo de un dispositivo de separación del tráfico y que debe ser utilizada de conformidad con lo dispuesto en la regla 10 d), en su forma enmendada, del Reglamento internacional para prevenir los abordajes (Reglamento de Abordajes, 1972).

**Zona de parada**

Áreas en las que se produce la parada o extinción de la arrancada del buque.

**Zona de precaución**

Medida de organización del tráfico que comprende una zona claramente delimitada en la que los buques han de navegar con especial precaución y dentro de la cual se puede recomendar la dirección del tráfico.

**Zona de separación**

Zona o línea que separa vías de circulación de buques que navegan en direcciones opuestas o casi opuestas; o que separa una vía de circulación de la zona marítima adyacente; o que separa vías de circulación designadas para determinadas clases de buques que navegan en la misma dirección.

**Zona de varada de emergencia**

Zona predeterminada a la que se dirige un buque en caso de que el tipo y grado de emergencia que sufra, aconseje varar para evitar daños mayores.



## 1.4. SISTEMAS DE UNIDADES

El sistema de unidades usado en estas Recomendaciones corresponde al Sistema Legal de Unidades de Medida obligatorio en España, denominado Sistema Internacional de Unidades (SI); con la salvedad de la unidad derivada de fuerza que también se utiliza la tonelada (t) debido a lo usual de dicha unidad en España para la medición de cargas y esfuerzos.

Las unidades básicas del Sistema Internacional más comúnmente utilizadas en el campo de la ingeniería civil son las siguientes:

— Longitud	:	Metro (m)
— Masa	:	Kilogramo (kg) o su múltiplo la tonelada (t) (1 t = 1.000 kg)
— Tiempo	:	Segundo (s)
— Temperatura	:	Grado centígrado (°C)
— Fuerza	:	Newton (N) o su múltiplo el Kilonewton (kN) (1 kN = 1.000 N)
— Frecuencia	:	Hertz (Hz)

La relación de la tonelada-fuerza con la unidad derivada de fuerza del Sistema Internacional (Newton-N-) es la siguiente: 1 t = 9,8 kN.

En algunos casos se incorporará también información en unidades habituales en náutica (millas, nudos, etc) cuando se estime conveniente para el mejor entendimiento del caso.

## 1.5. NOTACIONES

Las notaciones, abreviaturas, y símbolos convencionales fundamentales empleados en estas Recomendaciones y sus unidades se detallan en la tabla 1 . 1 .

## 1.6. REFERENCIAS DOCUMENTALES

*A Mathematical Model for the Calculation of the Harbour Entrance Manoeuvre*  
A. Burges. 7th International Harbour Congress. Amberes. Mayo 1978.

*Aids to Navigation Guide*

Asociación Internacional de Señalización Marítima (AISM). (NAVGUIDE).

*Análisis de incidencia del oleaje en el ángulo de deriva de un buque navegando en tramos rectos*

ALATEC, S. A. Ente Público Puertos del Estado. 1998.

*Análisis de la curva evolutiva de un buque, especialmente en relación con la profundidad de agua disponible*

ALATEC, S. A. Ente Público Puertos del Estado. 1998.

*Análisis de las maniobras de parada de buques en navegación en curva y de las desviaciones que pudieran producirse sobre la curva evolutiva teórica* ALATEC, S. A. Ente Público Puertos del Estado. 1998.

*Análisis de la maniobra de parada de buques en tramo recto y de las desviaciones que pudieran producirse sobre esta trayectoria*

ALATEC, S. A. Ente Público Puertos del Estado. 1998.

*Approach Channels. A Guide for Design*

Final Report of Working Group PTC II-30 PIANC. Suplemento al Boletín PIANC 95. Junio 1997.

*Approach Channels. Preliminary Guidelines*

First Report of Working Group PTC II-30 PIANC. Suplemento al Boletín PIANC 87. Abril 1995.

*«Arquitectura Naval». Teoría del Buque*

M. Gamboa Sánchez-Barcaiztegui. Editorial Naval. Madrid. 1944.

*Available Steering Devices*

Rudder Design Manual.

*Behavior and handling of ships*

H. H. Hooyer. Cornell Maritime Press. 1994.

*Big Tankers and Their Reception*

Final Report of International Oil Tankers Commission. PIANC. 1974.

*Bridge Simulator System*

STN Atlas Elektronik (Alemania). Mayo 1996.

*Capability of ship manoeuvring simulation models for approach channels and fairways in harbours*

Final Report of Working Group PTC II-20 PIANC. Suplemento al Boletín PIANC 77. 1992.

*Classification of harbours. Implementing ship motions into a classification scheme in PIANC - WG 24*

J.nr. SPH. Torshavn, 1992.

*Cinemática Naval*

Luis Carrero Blanco. Madrid.

*Considerations on the analysis of data generated by simulation models*

H. van de Beek. MARIN, Wageningen. 1990.

*Convenio sobre el Reglamento Internacional para prevenir los abordajes Organización Marítima Internacional (OMI). Londres. 1991.*

*Design and Construction of Dry Docks*

B. K. Mazurkiewick. Trans Tech Publications.

*Design and Construction of Ports and Marine Structures*

A. F. Quinn. McGraw-Hill Book Company. New York. 1972.

*Determining the horizontal dimensions of ship manoeuvring áreas. General recomendations and simulator studies*

J. R. Iribarren. Premio Gustave Willems 1998. Boletín PIANC 100. Enero 1999.

*Dimensionamiento en planta de áreas de maniobra de buques. Recomendaciones generales y estudios con simulador*

J. R. Iribarren. Premio Modesto Vigueras 1997. Sección Española del PIANC.

*Dirección y Explotación de puertos*

F. Rodríguez Pérez. Puerto Autónomo de Bilbao. 1985.

*Directiva para el Proyecto Tecnológico de Muelles*

Ministerio de Transportes de la Federación Rusa. Moscú. 1980.

*Directiva para el Proyecto Tecnológico de Puertos Marítimos*

Departamento de Transporte Marítimo del Ministerio de Transportes de la Federación Rusa. Moscú. 1993.

*Disposiciones generales sobre organización del Tráfico Marítimo*

Organización Marítima Internacional (OMI). Resolución A.572. 1985.

*Dredging*

R. N. Bray. Edward Arnold. London. 1979.

*Drift characteristics of 50.000 to 70.000 DWT Tankers*

Oil Companies International Marine Forum. OCIMF. London. 1982.

*Dynamique du navire*

P. Devauchelle. L'Institut Francais D'Aide a la Formation Professionnelle Maritime. París 1986.

*Efecto de las olas*

M. A. Losada. M. Alejo M. Moriel. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Madrid. 1993.

*Estudio de la maniobrabilidad y calados para el acceso al muelle de minerales del Puerto de Gijón*

CEDEX.

- Estudio de navegación y maniobrabilidad de metaneros y graneleros en el Puerto de Huelva*  
DELFT HYDRAULIC. Autoridad Portuaria de Huelva. 1989.
- Estudio de viabilidad e implicaciones del atraque de metaneros de 125.000 m<sup>3</sup> en el pantalán de ENAGAS en el Puerto de Huelva*  
ALATEC. Madrid. 1989.
- Guidelines and Recommendations for the safe Mooring of large Ships at Piers and Sea Islands*  
Oil Companies International Marine Forum. Witherby. London. 1978.
- Guidelines on Port Safety and Environmental Protection*  
The International Association of Ports and Harbors.
- International Safety Guide for Oil Tankers & Terminals*  
International Chamber of Shipping. Oil Companies International Marine Forum. International Association of Ports and Harbors. Witherby. London. 1986.
- Introducción a la Propulsión de Buques*  
A. Baquero. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. 1998.
- Introducción a la Teoría del Funcionamiento de la hélice*  
J. A. Alaez Zazurca. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. 1998.
- Maniobra de los buques*  
R. Marí Sagarra. Universidad Politécnica de Cataluña. 1994.
- Maniobras del tractor acuático VOITH*  
VOITH.
- Manual de Maniobras*  
R. Oreste Rennella. Instituto de Publicaciones Navales. Buenos Aires. 1987.
- Mathematical Modelling of Ship Manoeuvring*  
National Maritime Institute. 1979.
- Modelización y simulación del comportamiento del buque en aguas tranquilas con aplicación a estudios de maniobras en puerto*  
J. M. Montero. Tesis Doctoral. CEDEX Cuadernos de Investigación C-32, 1993.
- Nautical risk analysis in port and fairway design*  
W. A. de Vries. Delft Hydraulics. Diciembre 1990.
- Navigation Channel Design using Real-time Marine Simulation*  
D. Webb. Dredging'94. ASCE. Noviembre 1994.
- Obras Marítimas*  
R. Iribarren Cavanilles. Editorial Dossat. Madrid.
- On the Determination of the Width of Harbour Approach Channels. An Attempt at Rational Design*  
A. urges, K. Peerlkamp. 8th International Harbour Congress. Amberes. Junio 1983.
- Optimal layout and dimensions for the adjustment lo large ships of maritime fairways in shallow seas, seastraits and maritime waterways*  
Final Report or Working Group IV. International Commision for the Reception of Large Ships. PIANC. Suplemento al Boletín n° 35.
- Ordenación de Vías Navegables*  
P. Suárez Bores. Laboratorio de Puertos. CEDEX. 1969.
- Pilotaje en puerto*  
R. A. B. Ardley. Ediciones Garriga.
- Port Design. Guidelines and Recommendations*  
C. A. Thoresen. TAPIR Publishers. Norway. 1988.
- Port Development*  
Uniled Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). Naciones Unidas, New York. 1978.

*Port Engineering*

Per Bruun. Gulf Publishing Company. 1981.

*Primer of Towing*

G. H. Reid. Cornell Maritime Press. 1994.

*Principies of Naval Architecture*

Comstock.

*Proceedings of the Eleventh Conference*

The International Association of Ports and Harbors. Report of the Special Committee on

Large Ships. 1979.

*Provisión y exposición en lugares visibles a bordo de los buques de información relativa*

*a la maniobra*

Organización Marítima Internacional (OMI). Resolución A. 601. 1987.

*Reglamento de Operaciones Náuticas de todos los Puertos españoles integrados en el Ente Público Puertos del Estado*

Puertos del Estado.

*Report on Ship Channel Design*

American Society of Civil Engineers. ASCE. 1993.

*Report on Small Craft Harbors*

American Society of Civil Engineers. 1969.

*Resistance and Propulsión of ships*

SV. AA. Harvald. Krieger Publishing Company. Florida. 1991.

*Review of selected standars for Floating Dock Designs*

J. Nichol I. A. White. Sport & Pleasure Navigation Commision. PIANC. 1995.

*Richard Bay Harbour Port Operation Manual*

N. P. Campbell, J. A. Zwamborn. PIANC Bulletin n° 45. 1984.

*Rudder propeller*

SCHOTTEL.

*Sea Loads on Ships and offshore structures*

C. M. Faltinsen. Cambridge Ocean Technology. 1994.

*Seguridad de la Vida Humana en el Mar*

Organización Marítima Internacional (OMI). Londres.

*Shiphandling with tugs*

G. H. Reid. Cornell Maritime Press. 1980.

*SHIPMA. Fast-time simulation program for ship manoeuvring*

Delft Hydraulics. (Holanda). Agosto 1987.

*Ship's Bridge Simulator SBS-2000 POLARIS. Product Description*

Kongsberg Norcontrol (Noruega). Diciembre 1996.

*Shore Protection Manual*

Department of the Army. U.S. Army. Coastal Engineering Reserch Center. 1984.

*Simulator Design Document for Mermaid 500*

MSCN (Holanda). Marzo 1994.

*Single Point Mooring. Maintenance and Operation Guide*

Oil Companies International Marine Forum. OCIMF. 1985.

*Small - Craft Harbors*

Coastal Engineering Reseach Center. Fort Belvoir. 1974.

*Spiagge e Porti Turistici*

G. Berniolo / G. Sirito. HOEPLI.

*Statistical Treatment of Ship Manoeuvring Results for Fairway Design*

A. Burgers, G. J. A. Loman. Boletín PIANC 45. 1985.

*Standard Ship Designs*

R. Scott. Fairplay Publications Ltd. London. 1985.

*Teoría del Buque*

J. A. Alaez Zarzuga. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. 1998.

*Teoría del Buque. Resistencia al avance*

A. Baquero. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. 1998.

*The Navigation Control Manual*

A. G. Bole. W. O. Dineley. C. E. Nicholls. Newnes. Oxford. 1992.

*The Statistical Analysis of Ship Manoeuvring Simulator Results for Fairway Design based on the Interdependency of Fairway Cross-sections Transit*

A. Burges, M. Kok. 9th International Harbour Congress. Amberes. Junio 1988. Delft Hydraulics Publication 422. Octubre 1989.

*Tratado de Maniobra y Tecnología Naval*

J. B. Costa. Formentera. 1991.

*Travaux Maritimes*

J. Chapon. Editions Eyrolles. Paris. 1966.

*Tug use in Port*

H. Hensen. The Nautical Institute. London. 1997.

*Underkeel clearance for large ships in Maritime Fairways with Hard Bottom Final Report of Working Group of the Permanent Technical Committee II. PIANC Suplemento al boletín n° 51. 1985.*

*Validation of a ship manoeuvring simulator. A methodological view*

H. van de Beek. MARÍN, Wageningen. 1990.

*Voith-Schneider Propulsión*

VOITH.

TABLA 1.1. NOTACIONES, ABREVIATURAS Y SIMBOLOS CONVENCIONALES FUNDAMENTALES UTILIZADOS EN ESTAS RECOMENDACIONES		
I. MAYUSCULAS LATINAS		
SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
$A_a$	Parámetro de ajuste de un modelo de regresión	—
$A_{BMVE}$	Semi amplitud de la onda de marea correspondiente a la BMVE	m
$A_b$	Sección transversal principal de la obra viva de un buque.	m <sup>2</sup>
$A_c$	Sección transversal de un canal.	m <sup>2</sup>
$A_{helaux}$	Superficie de la tobera de la hélice auxiliar de un buque.	m <sup>2</sup>
$A_{LC}$	Area longitudinal sumergida del buque sometida a la acción de la corriente.	m <sup>2</sup>
$A_{LCF}$	Area de la superficie del buque mojada longitudinalmente a la dirección de crujía.	m <sup>2</sup>
$A_{LV}$	Area de la proyección longitudinal del buque expuesta a la acción del viento.	m <sup>2</sup>
$A_{MC}$	Semi amplitud de una onda de marea de coeficiente «C».	m
$A_{PA}$	Coficiente del piloto automático.	—
$A_{PMVE}$	Semi amplitud de la onda de marea correspondiente a la PMVE.	—
$A_{TV}$	Area de la proyección transversal del buque expuesta a la acción del viento.	m <sup>2</sup>
$A_{TC}$	Area transversal sumergida del buque sometido a la acción de la corriente.	m <sup>2</sup>
$A_{TCF}$	Area de la superficie del buque mojada transversalmente a la dirección de crujía.	m <sup>2</sup>
B	Manga de un buque.	m
$B_1$	Factores relacionados con los barcos, incluida la disponibilidad de remolcadores, de los que depende la superficie necesaria para la realización de la navegación, maniobras o permanencia de los buques en el Area que se considere.	—
$B_2$	Factores relacionados con la exactitud y fiabilidad de los sistemas de señalización y balizamiento.	—
$B_3$	Factores relacionados con los contornos de un Area de Navegación o Flotación.	—
$B_a$	Parámetro de ajuste de un modelo de regresión.	—
$B_G$	Dimensión que define la anchura del Area de Reviro de buques, en maniobras efectuadas con remolcadores.	m
$BM_C$	Bajamar de una onda de marea de coeficiente «C».	m
$B_{max}$	Manga máxima del mayor Buque de Proyecto.	m
$B_n$	Anchura nominal de una vía de navegación.	m
$B_{nd}$	Anchura nominal de una dársena, medida entre planos de caras exteriores de defensas de los muelles longitudinales.	m
$B_{ndp}$	Incremento de la anchura nominal de una dársena « $B_{nd}$ » debido a la existencia de buques abarloados a los atracados en sus muelles longitudinales.	m
$B_{PA}$	Coficiente del piloto automático.	—
$B_r$	Anchura adicional de reserva de un Area de Navegación o Flotación para tomar en consideración los factores relacionados con los contornos.	m
$B_{rd}$	Anchura $B_r$ referida a la margen derecha de una vía de navegación.	m
$B_{ri}$	Anchura $B_r$ referida a la margen izquierda de una vía de navegación.	m
$B_t$	Anchura total de una vía de navegación.	m
$B_{to}$	Anchura total de una vía navegable en el tramo en que exista variación de las condiciones climáticas	m
$B_{t1a}$	Anchura total de una vía navegable en el tramo de navegación permanente anterior a la zona de variación de las condiciones climáticas	m
$B_{t1p}$	Anchura total de una vía navegable en el tramo de navegación permanente posterior a la zona de variación de las condiciones climáticas	m

TABLA 1.1. (Continuación)		
SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
$B_{tc}$	Anchura total de una vía de navegación en curva.	m
$B_{tr}$	Anchura total de una vía de navegación en tramo recto.	m
$C$	Coefficiente de marea.	*
$C_a$	Parámetro de ajuste de un modelo de regresión.	—
$C_b$	Coefficiente de bloque de un buque.	*
$C_{CL}$	Factor de forma para el cálculo de la resultante de las presiones de la corriente sobre los buques, actuando en la dirección de su eje longitudinal.	*
$C_{CT}$	Factor de forma para el cálculo de la resultante de las presiones de la corriente sobre los buques, actuando en la dirección de su eje transversal.	*
$C_{dw}$	Coefficiente de profundidad para el cálculo de las fuerzas del oleaje sobre el buque.	*
$C_{fw}$	Coefficiente de flotación para el cálculo de las fuerzas del oleaje sobre el buque.	*
$C_i$	Coefficiente de marea «i».	*
$C_m$	Coefficiente de masa hidrodinámica de un buque o cociente entre la masa total del sistema en movimiento (buque + agua que se moviliza con él) y la masa del buque.	*
$C_{PA}$	Coefficiente del piloto automático.	—
$C_r$	Coefficiente de rozamiento para el cálculo de las fuerzas de fricción de la corriente sobre el buque.	*
$C_v$	Coefficiente adimensional para el cálculo del ángulo de deriva de un buque, ocasionado por la acción del viento.	*
$C_{VF}$	Factor de forma para el cálculo de la resultante de presiones del viento sobre el buque.	*
$C_{VL}$	Factor de forma para el cálculo de la resultante de la acción del viento sobre el buque, actuando en la dirección de su eje longitudinal.	*
$C_{VT}$	Factor de forma para el cálculo de la resultante de la acción del viento sobre el buque, actuando en la dirección de su eje transversal.	*
$D$	Calado de un buque.	m
$D_e$	Calado estático de un buque.	m
$D_p$	Distancia de parada de un buque.	m
$D_{PA}$	Coefficiente del piloto automático.	—
$E$	Riesgo admisible.	*
$E_{ij}$	Riesgo asociado a la operación de los buques del tipo (i) en las condiciones de operatividad del intervalo (j).	*
$E_{max}$	Riesgo máximo admisible.	*
$E_{PA}$	Coefficiente del piloto automático.	—
$F_a$	Fuerza aerodinámica horizontal resultante de la acción del viento sobre las velas de un barco.	t
$F_c$	Fuerza centrífuga.	t
$F_h$	Fuerza hidrodinámica horizontal resultante de la acción del agua sobre la carena de un barco.	t
$F_i$	Fuerza de inercia.	t
$F_{LC}$	Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante de la acción de la corriente sobre él.	t
$F_{LCF}$	Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante de la fricción de la corriente sobre él.	t
$F_{LCP}$	Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante de la presión de la corriente sobre él.	t
$F_{LRi}$	Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante de la actuación de un remolcador sobre él.	t
$F_{LV}$	Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante de la acción del viento sobre él.	t
$F_{LW}$	Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante de la acción del oleaje sobre él.	t

TABLA 1.1. (Continuación)		
SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
$F_{nh}$	Número de Froude.	*
$F_{PA}$	Coefficiente del piloto automático.	—
$F_{Ri}$	Fuerza horizontal resultante de la acción de un remolcador actuando sobre un buque.	t
$F_t$	Factor de timón.	*
$F_{TC}$	Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante de la acción de la corriente sobre él.	t
$F_{TCF}$	Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante de la fricción de la corriente sobre él.	t
$F_{TCP}$	Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante de la presión de la corriente sobre él.	t
$F_{TRi}$	Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante de la actuación de un remolcador sobre él.	t
$F_{TV}$	Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante de la acción del viento sobre él.	t
$F_{TW}$	Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante de la acción del oleaje sobre él.	t
G	Francobordo de un buque.	m
$G_{PA}$	Coefficiente del piloto automático.	—
$H_1$	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.	—
$H_2$	Factores que afectan a la variabilidad del Nivel del Agua.	—
$H_3$	Factores relacionados con el fondo.	—
$H_s$	Altura de ola significativa.	m
I	Momento de inercia de la superficie de isocarena referido a su eje longitudinal.	m <sup>4</sup>
$I_p$	Momento de inercia hidrodinámica del buque respecto a su centro de gravedad.	t.m.s. <sup>2</sup>
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).	*
$K_1$	Factor de corrección para el cálculo del trimado dinámico.	*
$K_{ec}$	Coefficiente de excentricidad para la obtención del momento resultante de la presión de la corriente sobre un buque.	*
$K_{ev}$	Factor de excentricidad para la obtención del momento resultante de las presiones del viento sobre un buque.	*
KG	Altura del centro de gravedad de pesos sobre la quilla.	m
$K_{mf}$	Factor que cuantifica el área de maniobra de buques entre las dos alineaciones de boyas o de anclas fondeadas en una y otra alineación longitudinal de una dársena.	*
$K_{mr}$	Factor que cuantifica el área de maniobra de buques entre las dos alineaciones de buques atracados de punta en las alineaciones longitudinales de una dársena.	*
$K_{PF}$	Coefficiente, no adimensional, que relaciona la tracción a punto fijo de un remolcador con su potencia al freno.	—
$K_r$	Coefficiente adimensional para el cálculo del ángulo de deriva de un buque en navegación, ocasionado por la acción de los remolcadores.	*
$K_s$	Coefficiente adimensional de corrección para la determinación del trimado dinámico en canales sumergidos o convencionales.	*
$K_T$	Constante, no adimensional, para determinar la fuerza $P_T$ generada en la pala del timón de un buque.	*
$K_v$	Coefficiente adimensional para el cálculo del ángulo de deriva de un buque ocasionado por la acción del viento.	*
$K_{VD}$	Coefficiente, no adimensional, que relaciona la potencia eficaz suministrada por la máquina de un buque con su desplazamiento y velocidad de servicio.	—



TABLA 1.1. (Continuación)		
SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
$K_w$	Coefficiente adimensional para el cálculo del ángulo de deriva de un buque ocasionado por la acción del oleaje.	*
$K_z$	Radio de giro de un buque con respecto a un eje vertical que pasa por su centro de gravedad.	m
L	Eslora total.	m
$L_f$	Período de tiempo asignado en proyecto a cada una de las fases del mismo (Vida Útil de la fase del proyecto).	años o meses
$L_G$	Dimensión que define la longitud del Área de Reviso de buques en maniobras efectuadas con remolcadores.	m
$L_n$	Logaritmo Neperiano.	—
$L_{pp}$	Eslora entre perpendiculares.	m
$L_{proy}$	Longitud de la proyección de un buque en la dirección del oleaje incidente.	m
$L_r$	Suma de la eslora total de un remolcador y de la proyección horizontal del cable de remolque, para maniobras de atraque y desatraque en dársenas.	m
$L_v$	Componente en el sentido longitudinal de un buque, de la fuerza propulsiva $F_a$ producida por la acción del viento sobre las velas.	t
$L_w$	Longitud de onda absoluta a la profundidad del emplazamiento.	m
$L_{wr}$	Longitud de ola aparente o relativa al buque, a la profundidad del emplazamiento.	m
M	Masa del buque, comprendiendo la masa propia y la masa de agua movilizada con él.	$t.s^2/m$
$M_e$	Momento evolutivo de un buque producido por las fuerzas en el timón.	t.m
$M_{TC}$	Momento resultante de la acción de las fuerzas de presión de la corriente sobre el buque, aplicado sobre un eje vertical que pasa por su centro de gravedad.	t.m
$M_{TRi}$	Momento resultante de la actuación de un remolcador sobre un buque, aplicado sobre un eje vertical que pasa por su centro de gravedad.	t.m
$M_{TV}$	Momento resultante de la acción del viento sobre el buque, aplicado sobre un eje vertical que pasa por su centro de gravedad.	t.m
$M_x$	Masa hidrodinámica (masa más masa añadida) del buque en movimiento a lo largo del eje x.	$t.s^2/m$
$M_y$	Masa hidrodinámica (masa más masa añadida) del buque en movimiento a lo largo del eje y.	$t.s^2/m$
N	Momento resultante de la fuerza exterior respecto al centro de gravedad del buque.	t.m
$N_a$	Número de buques por año que se prevé operarán en el año medio representativo de toda la Vida Útil del Área y fase que se analice.	*
$N_{BC}$	Nivel de agua correspondiente a la Bajamar de una Onda de Marea de Coeficiente C.	m
$N_{helaux}$	Momento inducido por la hélice auxiliar de un buque.	t.m
$N_{hidr}$	Momento de la fuerza hidrodinámica que actúa sobre un buque.	t.m
$N_{ij}$	Número probable de maniobras de cada tipo de buque asociado a unas determinadas condiciones de operatividad que se prevé realizar durante toda la Vida Útil del Área que se analice.	*
$N_{ola}$	Momento de las fuerzas producidas por el oleaje sobre un buque.	t.m
$N_{orilla}$	Momento de succión/repulsión ocasionado por una orilla.	t.m
$N_{PC}$	Nivel de agua correspondiente a la Pleamar de una Onda de Marea de Coeficiente C.	m
$N_{prop}$	Momento de la fuerza propulsora del buque.	t.m
$N_{viento}$	Momento de las fuerzas producidas por el viento.	t.m
$N_{timón}$	Momento de la fuerza de gobierno (timón) de un buque.	t.m
$N_w$	Número de olas.	*
O	Centro instantáneo de rotación.	—

TABLA 1.1. (Continuación)		
SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
P	Punto Giratorio.	—
PM <sub>C</sub>	Pleamar de una onda de marea de coeficiente «C».	m
P <sub>T</sub>	Fuerza resultante en dirección perpendicular a la pala del timón, de las cargas generadas por una corriente de agua que incide sobre el timón de un buque.	t
P <sub>TL</sub>	Componente en el sentido longitudinal de un buque, de la fuerza P <sub>T</sub> generada por la corriente en la pala del timón.	t
P <sub>TN</sub>	Componente en el sentido transversal de un buque, de la fuerza P <sub>T</sub> generada por la corriente en la pala del timón.	t
R	Radio de la trayectoria de un buque.	m
R <sub>a</sub>	Resistencia al avance de un buque.	t
R <sub>ao</sub>	Resistencia del buque al avance en el momento de iniciarse la maniobra de parada.	t
R <sub>c</sub>	Fuerza resultante horizontal de la acción de la corriente sobre el buque.	t
R <sub>CF</sub>	Fuerza resultante horizontal de la acción de la fricción de la corriente sobre el buque.	t.
R <sub>CP</sub>	Fuerza resultante horizontal de la acción de las presiones de la corriente sobre el buque.	t.
R <sub>cr</sub>	Dimensión que define el perímetro circular del Area de Reviro de buques en maniobras efectuadas con remolcadores.	m
R <sub>sr</sub>	Radio del círculo de maniobra de reviro, en el caso de que la operación se efectúe sin auxilio de remolcadores.	m
R <sub>v</sub>	Fuerza resultante horizontal de la acción del viento sobre el buque.	t
R <sub>w</sub>	Fuerza resultante horizontal de la acción del oleaje sobre el buque.	t
S <sub>1</sub>	Hipótesis de trabajo correspondiente a Condiciones Normales de Operación.	—
S <sub>2</sub>	Hipótesis de trabajo correspondiente a Condiciones Extremas.	—
S <sub>3</sub>	Hipótesis de trabajo correspondiente a Condiciones Excepcionales.	—
S <sub>4</sub>	Hipótesis de trabajo correspondiente a Mantenimiento.	—
s <sub>t</sub>	Superficie de la pala del timón.	m <sup>2</sup>
T	Puntal de un buque.	m
T <sub>a</sub>	Tiempo necesario para la realización de una maniobra de adelantamiento de buque.	s
T <sub>c</sub>	Carga de trabajo de una cadena.	t
T <sub>M</sub>	Componente horizontal de la fuerza aplicada en una amarra de un buque.	t
T <sub>m</sub>	Período de la onda de marea.	s
T <sub>ML</sub>	Componente en el sentido longitudinal de un buque de la fuerza T <sub>M</sub> debida a una amarra.	t
T <sub>MT</sub>	Componente en el sentido transversal de un buque de la fuerza T <sub>M</sub> debida a una amarra.	t
T <sub>P</sub>	Empuje aplicado en el propulsor de un buque.	t
T <sub>PF</sub>	Tracción a punto fijo de un remolcador.	t
T <sub>PT</sub>	Componente transversal al buque del empuje del propulsor.	t
T <sub>v</sub>	Componente en el sentido transversal de un buque, de la fuerza propulsiva F <sub>a</sub> producida por la acción del viento sobre las velas.	t
T <sub>w</sub>	Período absoluto del oleaje.	s
U.A.	Unidad de altura de una marea.	m
U	Anchura temporal de una ventana o período de tiempo en el cual la profundidad de agua disponible supera unos valores refijados.	s
V	Velocidad absoluta del buque con respecto al fondo.	m/s
V <sub>c</sub>	Velocidad absoluta de la corriente.	m/s
V <sub>cr</sub>	Velocidad relativa de la corriente referida al buque.	m/s
T <sub>wr</sub>	Período del oleaje, aparente o relativo al buque, o Período de Encuentro.	s

TABLA 1.1. (Continuación)		
SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
$V_{c.1 \text{ min}}$	Velocidad media de la corriente correspondiente a una profundidad del 50% del calado del buque, en un intervalo de 1 minuto.	m/s
$V_F$	Velocidad del flujo en la tobera de la hélice auxiliar de un buque.	m/s
$V_L$	Componente de la velocidad absoluta del buque en el sentido longitudinal a la trayectoria.	m/s
$V_o$	Velocidad absoluta del buque en el momento de iniciarse la maniobra de parada.	m/s
$v_r$	Velocidad relativa del buque con respecto al agua.	m/s
$v_{rr}$	Velocidad relativa del buque referida a la velocidad de la corriente de la vía navegable en la misma dirección que su ruta.	m/s
$V_T$	Velocidad del flujo de agua incidente en el timón.	m/s
$V_v$	Velocidad absoluta del viento.	m/s
$v_{vr}$	Velocidad relativa del viento referida al buque.	m/s
$V_{10.1 \text{ min}}$	Velocidad media del viento correspondiente a 10 m. de altura y ráfaga de 1 minuto.	m/s
V/H	Pendiente de un talud calculado por la relación entre la proyección vertical y la horizontal de una unidad de longitud medida sobre el talud.	*
W	Potencia eficaz suministrada por la máquina de un buque.	t.m/s
$W_o$	Potencia eficaz suministrada por la máquina de un buque modelo.	t.m/s
$W_R$	Potencia al freno de un remolcador.	t.m/s
X	Componente según el eje x de la fuerza exterior que actúa sobre un buque.	t
$x_b$	Espacio ocupado por un buque.	m
$x_{bk}$	Valor característico de la dimensión que define el espacio ocupado por un buque.	m
$x_e$	Espacio disponible en un emplazamiento.	m
$x_{ek}$	Valor característico de la dimensión que define el espacio disponible de un emplazamiento.	m
$x_{hldr}$	Componente x de la fuerza hidrodinámica que actúa sobre un buque.	t
$x_K$	Valor característico de una dimensión.	m
$x_n$	Variable que cuantifica el espacio ocupado por un buque.	m
$x_o$	Valor concreto de la dimensión de un espacio.	m
$x_{ola}$	Fuerza longitudinal del oleaje actuando sobre un buque.	t.
$x_{orilla}$	Componente longitudinal de la fuerza de succión/repulsión de un orilla.	t.
$x_{prop}$	Componente x de la fuerza propulsora de un buque.	t.
$x_s$	Resguardo de Seguridad.	m
$x_{sd}$	Resguardo de Seguridad aplicable a la dimensión que se considere.	m
$x_{timón}$	Componente x de la fuerza de gobierno (timón) de un buque.	t.
$x_{viento}$	Fuerza longitudinal del viento actuando sobre un buque.	t.
Y	Componente según el eje y de la fuerza exterior que actúa sobre un buque.	t.
$Y_{helaux}$	Componente transversal de la fuerza inducida por la hélice auxiliar de un buque.	t.
$Y_{hidr}$	Componente y de la fuerza hidrodinámica que actúa sobre un buque.	t.
$Y_{ola}$	Fuerza longitudinal del oleaje actuando sobre un buque.	t.
$Y_{orilla}$	Componente transversal de la fuerza de succión/repulsión de una orilla.	t.
$Y_{prop}$	Componente y de la fuerza propulsora de un buque.	t.
$Y_{timón}$	Componente y de la fuerza de gobierno (timón) de un buque.	t.
$Y_{viento}$	Fuerza transversal del viento actuando sobre un buque.	t.
$Z_x$	Variable aleatoria distribuida normalmente según el error cuadrático medio en modelos de regresión.	—

TABLA 1.1. (Continuación)		
II. MINUSCULAS LATINAS		
SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
a	Espacio aéreo asociado a una profundidad de agua, para la determinación de gálibos sobre Áreas de Flotación.	m
a <sub>e</sub>	Coefficiente de excentricidad para cuantificar los efectos de succión y repulsión de una orilla.	*
b <sub>b</sub>	Sobreancho de la senda del buque para cubrir el error que pudiera derivarse de los sistemas de balizamiento.	m
b <sub>d</sub>	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.	m
b <sub>dc</sub>	Sobreancho de la senda ocupada por el buque ocasionado por la navegación en tramos curvos.	m
b <sub>dv</sub>	Sobreancho de la senda ocupada por un buque ocasionado por condiciones climáticas variables.	m
b <sub>dva</sub>	Sobreancho «b <sub>dv</sub> » referido a un tramo anterior al que tenga condiciones climáticas variables.	m
b <sub>dvd</sub>	<b>Sobreancho «b<sub>dv</sub>» referido a la margen derecha de una vía navegable.</b>	m
b <sub>dvi</sub>	Sobreancho «b <sub>dv</sub> » referido a la margen izquierda de una vía navegable.	m
b <sub>dvp</sub>	Sobreancho «b <sub>dv</sub> » referido a un tramo posterior al que tenga condiciones climáticas variables.	m
b <sub>e</sub>	Sobreancho de la senda del buque debido a errores de posicionamiento.	m
b <sub>r</sub>	Sobreancho de la senda del buque debido al tiempo de respuesta desde el instante en que se detecta la desviación del buque en relación a su posición teórica y el momento en que la corrección es efectiva.	m
b <sub>ro</sub>	Sobreancho «b <sub>r</sub> » para un valor de E <sub>max</sub> = 0,50.	m
b <sub>rc</sub>	Sobreancho de la senda del buque debido al tiempo de respuesta para anticipar la navegación en curva con radio constante.	m
b <sub>s</sub>	Ancho de la zona o banda de separación intermedia entre los dos carriles de una vía de navegación.	m
d <sub>bg</sub>	Distancia vertical entre el centro de gravedad de pesos y el centro de empuje (centro de gravedad del volumen sumergido) del buque.	m
d <sub>c</sub>	Sobrecalados del buque debidos a los movimientos de escora producidos por la actuación de la corriente sobre él.	m
d <sub>cg</sub>	Distancia vertical entre la línea de acción de F <sub>TC</sub> y el centro de gravedad del barco.	m
d <sub>dg</sub>	Distancia vertical entre el centro de deriva y el centro de gravedad de un buque.	m
d <sub>g</sub>	Incrementos de calado que se producen en el buque en relación con su situación de quilla a nivel, debidos a trimados, escoras o deformaciones ocasionadas por diferentes condiciones de la carga.	m
d <sub>r</sub>	Sobrecalados del buque debidos a los movimientos de eslora producidos por cambio de rumbo.	m
d <sub>s</sub>	Cambios en el calado del buque producidos por variaciones en la densidad del agua en que navega.	m
d <sub>T</sub>	Distancia del centro de presiones al borde delantero de la pala del timón de un buque.	m
d <sub>r</sub>	Trimado dinámico o «squat».	m
d <sub>v</sub>	Sobrecalados del buque debidos a los movimientos de escora producidos por la actuación del viento sobre él.	m

TABLA 1.1. (Continuación)		
SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
$d_{vd}$	Distancia vertical entre la línea de acción de $F_{TV}$ para el caso de buques en navegación y el centro de deriva. Para buques amarrados, distancia vertical entre la línea de acción de $F_{IV}$ y la de las fuerzas de amarre o defensa que la equilibran.	m
$d_w$	Incremento de calado de un buque producido por la acción del oleaje.	m
$e_v$	Excentricidad de la fuerza resultante del viento con respecto al centro de gravedad del buque, medida sobre el plano de crujía.	m.
$e_{cp}$	Excentricidad de la fuerza resultante de las presiones de la corriente sobre el buque, con respecto a su centro de gravedad, medida sobre el plano de crujía.	m.
$f$	Frecuencia de presentación.	*
$f_{bi}$	Frecuencia de presentación de los buques, desglosada en tipos o categorías de características homogéneas en relación con sus condiciones de maniobrabilidad (expresada en «tanto por uno» en relación con el número de buques por año $N_a$ que se prevé operarán en el año medio representativo de toda la Vida Útil del Area y Fase que se analice).	*
$f_{oj}$	Frecuencia de presentación de las condiciones de operatividad en las que puedan desarrollarse las maniobras de buques (expresadas en «tanto por uno» en relación con el año medio).	*
$f_{(mNw)}$	Factor de mayoración para calcular el mayor valor del movimiento vertical de un buque producido por la acción del oleaje, en función de la probabilidad de excedencia y el número de olas.	*
$f_1$	Factor de reducción del empuje de la hélice transversal de un buque por la interacción del flujo y el propio casco a diferentes velocidades de navegación.	*
$f_2$	Factor de reducción del momento producido por el empuje de la hélice transversal de un buque debido a la interacción del flujo y el propio casco a diferentes velocidades de navegación.	*
$g$	Aceleración de la gravedad.	$m/s^2$
$h$	Profundidad del agua en reposo.	m
$h_b$	Profundidad de agua correspondiente a la bajamar de una Onda de Marea medida en relación con la BMVE.	m
$h_e$	Altura del escobén sobre la superficie del agua.	m
$h_{ef}$	Altura del escobén sobre el fondo.	m
$h_L$	Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano longitudinal.	m
$h_M$	Profundidad media del agua correspondiente a una onda de Marea, medida en relación con la BMVE.	m
$h_m$	Profundidad de agua correspondiente a un punto cualquiera de la Onda de Marea, medida en relación con la BMVE.	m
$h_p$	Profundidad de agua correspondiente a la pleamar de una Onda de Marea medida en relación con la BMVE.	m
$h_T$	Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano transversal.	m
$h_z$	Profundidad de la zanja dragada referida al nivel medio del fondo.	m
$l$	Longitud.	m
$l_a$	Longitud de amarre.	m
$l_c$	Longitud de cadena.	m
$l_d$	Recorrido o desplazamiento de una boya.	m
$l_g$	Longitud de garreo de un ancla.	m
$l_i$	Imprecisiones del fondeo de un ancla.	m
$l_o$	Descuello o componente longitudinal de la distancia exenta entre barcos atracados en la misma alineación.	m

TABLA 1.1. (Continuación)		
SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
$l_s$	Separación o componente longitudinal de la distancia existente entre un barco atracado a un muelle y el cambio de alineación del muelle o de su tipología estructural, más próximo.	m
$l_T$	Longitud de la pala del timón de un buque.	m
$n$	Revoluciones de la hélice de un buque.	1/s
$n_b$	Número de barcos abarloados.	*
$p_{ij}$	Probabilidad de excedencia de que un espacio cualquiera ( $X_o$ ) sea sobrepasado por un buque de tipo (i) en las condiciones de operatividad del intervalo (j), en el desarrollo de una maniobra independiente.	*
$r$	Velocidad absoluta de rotación del buque.	grados/s
$r_c$	Velocidad absoluta de rotación de la corriente.	grados/s
$r_e$	Índice de repercusión económica en caso de fallo.	*
$rh_{sd}$	Margen de seguridad o resguardo horizontal libre que deberá quedar siempre disponible entre el buque y los contornos, taludes o cajeros de una vía navegable o Area de Maniobras.	m
$(rh_{sd})_d$	Margen de seguridad « $rh_{sd}$ » referido a la margen derecha de una vía navegable.	m
$(rh_{sd})_i$	Margen de seguridad « $rh_{sd}$ » referido a la margen izquierda de una vía navegable.	m
$rh_{sm}$	Resguardo de seguridad que debe 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.	m
$(rh_{sm})_d$	Resguardo de seguridad « $rh_{sm}$ » referido a la margen derecha de una vía navegable.	m
$(rh_{sm})_i$	Resguardo de seguridad « $rh_{sm}$ » referido a la margen izquierda de una vía navegable.	m
$r_r$	Velocidad relativa de rotación del buque con respecto al agua.	grados/s
$rv_{sd}$	Resguardo vertical libre que deberá quedar siempre disponible entre el casco del buque y el fondo (Margen de Seguridad).	m
$rv_{sm}$	Resguardo vertical para seguridad y control de la maniobrabilidad de un buque.	m
$S_1$	Factor de corrección para el cálculo del trimado dinámico.	*
$t$	Tiempo cronológico de presentación de un punto cualquiera de la Onda de Marea asociado a una profundidad de agua « $y_m$ », medido en relación con la pleamar más próxima.	s
$t_{b1}$	Tiempo cronológico de presentación de la bajamar «1».	s
$t_{b2}$	Tiempo cronológico de presentación de la bajamar «2».	s
$t_{bi}$	Tiempo cronológico de presentación de la bajamar «i».	s
$t_c$	Tiempo necesario para corregir la maniobra de un buque en un tramo con condiciones climáticas variables.	s
$t_{p1}$	Tiempo cronológico de presentación de la pleamar «1».	s
$t_{p2}$	Tiempo cronológico de presentación de la pleamar «2».	s
$t_{pi}$	Tiempo cronológico de presentación de la pleamar «i».	s
$t_r$	Tiempo de reacción para iniciar las maniobras de adelantamiento o cruzamiento de buques.	s
$t_{ri}$	Tiempo de reacción necesario para invertir el empuje del propulsor desde el momento en que se inicia la maniobra de parada hasta que se alcanza el valor $T_p$ en marcha atrás.	s
$u$	Componente de la velocidad absoluta del buque en dirección x.	m/s
$u_c$	Componente de la velocidad absoluta de la corriente en dirección x.	m/s
$u_r$	Componente de la velocidad relativa del buque con respecto al agua en dirección x.	m/s

TABLA 1.1. (Continuación)		
SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
v	Componente de la velocidad absoluta del buque en dirección y.	m/s
v <sub>c</sub>	Componente de la velocidad absoluta de la corriente en dirección y.	m/s
v <sub>r</sub>	Componente de la velocidad relativa del buque con respecto al agua en dirección y.	m/s
w	Peso por unidad de longitud.	t/m
x	Coordenada.	m.
x <sub>b</sub>	Coefficiente de bloqueo para el cálculo de los efectos de succión y repulsión de una orilla.	m.
x <sub>G</sub>	Coordenada longitudinal del centro de gravedad del buque referida al sistema de ejes solidario con él.	m.
x <sub>helaux</sub>	Posición longitudinal de la hélice auxiliar referida al sistema de ejes solidarios con el buque.	m.
x <sub>prop</sub>	Posición longitudinal de la hélice referida al sistema de ejes solidario con el buque.	m.
x <sub>timón</sub>	Posición longitudinal del timón referida al sistema de ejes solidarios con el buque.	m
y	Coordenada	m
y <sub>m</sub>	Profundidad de agua correspondiente a un punto cualquiera de la Onda de Marea, medida en relación con el NM	m
y <sub>xi</sub>	Distancia al borde de una vía navegable medida en la sección «x» de la simulación «i».	m
III. GRIEGAS		
α	Angulo.	grados
α <sub>c</sub>	Angulo entre la dirección de la corriente absoluta (de donde viene) y el plano de crujía del buque.	grados
α <sub>cr</sub>	Angulo entre la dirección de la corriente relativa (de donde viene) y el plano de crujía del buque.	grados
α <sub>cv</sub>	Angulo entre la dirección de la corriente absoluta (de donde viene) y la velocidad absoluta del buque.	grados
α <sub>v</sub>	Angulo entre la dirección del viento absoluto (de donde viene) y el plano de crujía del buque.	grados
α <sub>vr</sub>	Angulo entre la dirección del viento relativo (de donde viene) y el plano de crujía del buque.	grados
α <sub>r</sub>	Angulo entre el timón y la dirección de la corriente que incide sobre él.	grados
α <sub>w</sub>	Angulo entre la dirección de propagación del oleaje (de donde viene) y el plano de crujía del buque.	grados
α <sub>wb</sub>	Angulo formado entre la velocidad absoluta del buque y la dirección del oleaje (de donde viene).	grados
β	Angulo de deriva de un buque.	grados
β <sub>0</sub>	Angulo de deriva máximo de un buque en la zona de una vía navegable en la que exista variación de las condiciones climáticas.	grados
β <sub>1</sub>	Angulo de deriva del buque «1».	grados
β <sub>2</sub>	Angulo de deriva del buque «2».	grados
β <sub>1a</sub>	Angulo de la deriva de un buque en el tramo de navegación permanente anterior a la zona de variación de las condiciones climáticas.	grados
β <sub>1p</sub>	Angulo de deriva de un buque en el tramo de navegación permanente posterior a la zona de variación de las condiciones climáticas.	grados
γ <sub>w</sub>	Peso específico del agua.	t/m <sup>3</sup>

TABLA 1.1. (Continuación)		
SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
$\Delta$	Peso de un buque. Desplazamiento.	t
$\Delta_y$	Error de rumbo de un buque.	grados
$\Delta_y$	Error de posición de un buque.	m.
$\nabla$	Volumen del desplazamiento de un buque.	m <sup>3</sup>
$\Theta_{CR}$	Angulo de balance de un buque ocasionado por la fuerza centrí-fuga.	grados
$\Theta_{TC}$	Angulo de balance de un buque ocasionado por la acción de la corriente transversal.	grados
$\Theta_{TV}$	Angulo de balance de un buque ocasionado por la acción del vien-to transversal.	grados
$\mu$	Probabilidad de excedencia.	*
$\xi$	Factor que cuantifica la distancia desde el punto de fondeo del ancla a la proa del buque, en función de la profundidad de agua existente en el emplazamiento.	*
P	Peso específico del aire.	t/m <sup>3</sup>
$\emptyset_c$	Angulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante de la acción de la corriente sobre el buque.	grados
$\emptyset_{CF}$	Angulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa y la dirección de la resultante de la fricción de la corriente sobre el buque, en t.	grados
$\emptyset_{CP}$	Angulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa y la dirección de la resultante de las presiones de la corriente sobre el buque.	grados
$\emptyset_v$	Angulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante de presiones de viento sobre el buque.	grados
$\Psi$	Rumbo del buque.	grados
IV. ABREVIATURAS		
ABREVIATURA	SIGNIFICADO	
AISM	Asociación Internacional de Señalización Marítima.	
BM <sub>C</sub>	Bajamar de una Onda de Marea de Coeficiente «C».	
BMVE	Bajamar mínima viva equinoccial.	
CG	Centro de gravedad.	
CV	Potencia expresada en Caballos de Vapor.	
DGPS	Differential Global Positioning System. GPS diferencial	
DW	Abreviatura inglesa que aparece en las cartas para señalar aguas profundas; en las notas se utiliza «DW» o la expresión «deep water route» (derrota en aguas profundas).	
ELU	Estado Límite Ultimo.	
GPS	Global Positioning System. Sistema de Posicionamiento Mundial, Global o Geográfico.	
GT	Arqueo bruto de un buque.	
NAVGUIDE	Aids to Navigation Guide (Guía de Ayudas a la Navegación).	



TABLA 1.1. (Continuación)	
ABREVIATURA	SIGNIFICADO
$N_{BC}$	Nivel de agua correspondiente a la Bajamar de una Onda de Marea de Coeficiente C.
NM	Nivel Medio del Mar.
NME	Nivel Medio de Estiaje en corrientes fluviales.
NMF	Nivel Medio de la Corriente Fluvial.
NMI	Nivel Medio de los máximos anuales en corrientes fluviales.
NMO	Nivel Medio de Operación de las aguas libres exteriores.
$N_{maxO}$	Nivel máximo de las aguas libres exteriores en condiciones de operación.
$N_{maxRH}$	Nivel extremal esperable de los máximos anuales en régimen fluvial, asociado a un riesgo admisible.
$N_{minRH}$	Nivel extremal esperable de los mínimos anuales de un régimen fluvial, asociado a un riesgo admisible.
$N_{PC}$	Nivel de agua correspondiente a la Pleamar de una Onda de Marea de Coeficiente C.
OMI	Organización Marítima Internacional.
$PM_C$	Pleamar de una Onda de Marea de Coeficiente «C».,
PMVE	Pleamar máxima viva equinocial.
RACON	Abreviatura de Radar Responder Beacon.
ROM	Recomendaciones para Obras Marítimas.
SI	Sistema Internacional de Unidades.
TEU	Twenty Feet Equivalent Unit (Contenedor tipo de 20 pies de largo).
TPM	Tonelaje de Peso Muerto de un buque.
TRB	Tonelaje de Registro Bruto de un buque.
VTS	Vessel Traffic Services (Servicios para el Tráfico de Buques).
YG	Señal recogida en el Código Internacional de Señales que significa referido a un buque «parece que usted no está cumpliendo con el dispositivo de separación del tráfico».



## **PARTE 2**

# **CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO**

---



## PARTE 2

## CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO

---

	<b>Indice</b>
2.1. FASES DEL PROYECTO .....	61
2.2. VIDA UTIL .....	62
2.3. ELEMENTOS QUE DEFINEN UN AREA DE NAVEGACION Y FLOTACION .....	62
2.4. CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO .....	64
2.5. CRITERIOS DE VALORACION DE DIMENSIONES GEOMETRICAS .....	66
2.6. VALORACION DE CASOS ACCIDENTALES .....	70



2.1.	Vidas útiles mínimas para áreas de navegación o flotación de carácter definitivo (en años) .....	63
2.2.	Riesgos máximos admisibles $E_{max}$ para la determinación, a partir de datos estadísticos, de valores característicos de las dimensiones que definen el espacio ocupado por los buques .....	69





## PARTE 2

---

### 2.1. FASES DEL PROYECTO

**2.1.1.** Se define como vida de proyecto de un Area de Navegación o Flotación al período de tiempo que va desde el comienzo de su construcción hasta su inutilización, abandono o cambio de uso.

**2.1.2.** La vida de proyecto se divide en las siguientes fases:

a) FASE DE CONSTRUCCION

Esta fase comprende el período que va desde el comienzo de la construcción del Area de Navegación o Flotación hasta su entrada en servicio.

Dado que las Areas de Navegación y Flotación, por lo que incumbe a esta Recomendación, no se refieren a las características estructurales de sus contornos, no tiene interés el análisis de las Subfases de Construcción que se especifican en la ROM 02.90 referentes a tales estructuras, al quedar ya cubiertas por dicha Recomendación.

La utilización provisional de las Areas de Navegación o Flotación durante su fase de construcción, modificación o mantenimiento, que son supuestos habituales (por ejemplo, realización de un dragado de mantenimiento en un Area de Flotación preexistente) y que si pueden afectar a los espacios de agua disponibles, se considerarán como casos particulares de la Fase de Servicio.

b) FASE DE SERVICIO

Esta fase comprende el período que va desde la puesta en servicio del Area de Navegación o Flotación, completa, hasta su inutilización, abandono o cambio de uso. A dicho período se le denominará también vida útil.

En esta fase se considerarán las siguientes hipótesis de trabajo:

- S1. Condiciones Normales de Operación:  
Las Areas de Navegación o Flotación funcionan sin limitaciones, no viéndose afectadas por las condiciones climáticas marítimas o meteorológicas.
- S2. Condiciones Extremas:  
Las Areas de Navegación ó Flotación tienen que paralizar o limitar su operatividad mientras subsistan acciones climáticas superiores a los límites de explotación. Esta condición está asociada a las más severas condiciones climáticas para las cuales estarán diseñadas las estructuras de sus contornos.
- S3. Condiciones Excepcionales:  
Las Areas de Navegación ó Flotación están sometidos, como consecuencia de accidentes, mal uso o condiciones climáticas o de trabajo excepcionales, a limitaciones extraordinarias no usuales aunque sí previsibles.
- S4. Mantenimiento:  
Incluye el mantenimiento de los requerimientos de espacios de agua o aéreos de las Areas de Navegación o Flotación, así como los supuestos asimilables a ello (modificaciones de espacios a causa de cambios de criterios de operación, cambios de usos, etc).

**2.1.3.** Para el proyecto de las Areas de Navegación o Flotación incluidas en el ámbito de aplicación de estas Recomendaciones se tendrán en cuenta todas las fases, subfases,

e hipótesis de trabajo posibles siempre que afecten al dimensionamiento; teniendo en cuenta que el procedimiento más habitual para resolver las subfases S3 y S4 consistirá en el establecimiento de condiciones más restrictivas para la Operación, acompañadas normalmente de mejoras temporales en el balizamiento, sin necesidad de recurrir a modificaciones en el dimensionamiento de estas zonas.

**2.1.4.** El Proyectista deberá fijar la duración máxima de cada una de las fases de proyecto que afecten al dimensionamiento, dada su especial significancia en la valoración de:

- Niveles de riesgo/seguridad que se deriven del uso de estas áreas
- Niveles de operatividad asociados al clima marítimo existente en la zona y al tráfico previsible en la fase correspondiente del Proyecto.
- Factibilidad económica del proyecto y de su posibilidad de desarrollo futuro.

## **2.2. VIDA UTIL**

**2.2.1.** La elección de la vida útil se realizará para cada proyecto ajustándose al tiempo en que se prevé en servicio el Area de Navegación o Flotación que se considere.

Para su determinación se tendrá en cuenta la posibilidad, facilidad y factibilidad económica de modificar su dimensionamiento, la probabilidad y posibilidad de cambios en las circunstancias y condiciones de utilización previstas en el proyecto como consecuencia de variaciones en operaciones o tráfico portuario y la viabilidad de readaptaciones a nuevas necesidades de servicio.

Dado el carácter aleatorio de bastantes de los parámetros que afectan a las condiciones de uso de estas obras marítimas, no es realista la aplicación estricta de los criterios anteriores a obras con vidas previsibles muy cortas. Se adoptarán como mínimo para obras con carácter definitivo y sin justificación específica los valores consignados en la tabla 2.1., en función del tipo de obra y del nivel de seguridad requerido. Se advierte sobre lo inadecuado que puede resultar minorar la Vida Util de este tipo de obras basándose en el argumento de que un dragado posterior puede corregir un infradimensionamiento inicial; si bien un cambio de la profundidad de agua de un área es relativamente sencillo, especialmente si las estructuras de los contornos están dimensionadas para ello, la configuración geométrica en planta de un Area de Navegación o Flotación puede resultar una limitación física prácticamente inalterable durante muchos años.

Cuando se admitan vidas útiles diferenciadas en partes de una misma obra, cada una de ellas deberá ser calculada separadamente en función de la valoración que le corresponda, tomando la precaución de que no se produzcan estrangulamientos no deseados en el conjunto.

## **2.3. ELEMENTOS QUE DEFINEN UN AREA DE NAVEGACION Y FLOTACION**

**2.3.1.** La definición correcta de un Area de Navegación o Flotación precisa la determinación de los elementos siguientes:

- La configuración geométrica de los espacios de agua y aéreos utilizados, mediante las definiciones precisas en planta y alzado de ejes, alineaciones, curvas, cotas, niveles y cuantos elementos sean necesarios para una determinación inequívoca de tales espacios.
- El balizamiento que se prevea instalar para la identificación «in situ» de tales espacios, cuya definición deberá ser especialmente concreta en el caso de que se haya afinado el dimensionamiento basándose en la precisión de determinadas ayudas a la navegación.
- Las condiciones climáticas marítimas y atmosféricas límites que permitan la utilización de las Areas de Navegación o Flotación en Condiciones Normales de Operación. Estas condiciones podrán ser diferentes según e tipo y dimensiones de los buques, los re-

**TABLA 2.1 . VIDAS UTILES MINIMAS PARA AREAS DE NAVEGACION O FLOTACION DE CARACTER DEFINITIVO (en años)**

TIPO DE OBRA	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
Infraestructura de carácter general	25 (15)	50 (25)	100 (40)
De carácter industrial específico	15 (10)	25 (15)	50 (25)

*NOTA: Las cifras indicadas entre paréntesis podrán utilizarse cuando se mantengan reservas de espacio en planta y alzado que no constituyan limitaciones físicas prácticamente inalterables, entendiéndose por tales las que obliguen a demoler las estructuras que delimiten sus contornos.*

**LEYENDA:**

**INFRAESTRUCTURA DE CARACTER GENERAL:**

Areas de Navegación o Flotación de carácter general; no ligadas a la explotación de una instalación industrial o de una sola terminal concreta.

**DE CARACTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO:**

Areas de Navegación o Flotación al servicio de una instalación industrial o de un solo terminal concreta o ligadas a la explotación de recursos o yacimientos de naturaleza transitoria (por ejemplo, puerto de servicio de una industria, cargadero de mineral afecto a un yacimiento concreto, plataforma de extracción de petróleo...).

**NIVEL 1:**

Areas de Navegación o Flotación en instalaciones de interés local o auxiliares. Pequeño riesgo de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de accidente.

(Puertos menores sin tráfico de buques con productos contaminantes, inflamables o peligrosos, puertos deportivos, puertos auxiliares para equipos de construcción de obras o para embarcaciones que no tengan que operar en condiciones más desfavorables que las de diseño del puerto auxiliar, etc).

**NIVEL 2:**

Areas de Navegación o Flotación en instalaciones de interés general. Riesgo moderado de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de accidente.

(Grandes puertos sin tráfico de productos contaminantes, inflamables o peligrosos o puertos menores que en caso de tener estos tráficos mantengan en todos los accesos y áreas de flotación accesibles a ellos, las distancias de seguridad a núcleos urbanos o espacios de elevado valor medioambiental especificadas por sus reglamentos particulares, etc).

**NIVEL 3:**

Areas de Navegación o Flotación en puertos e instalaciones de carácter supranacional. Riesgo elevado de pérdidas humanas o daños medioambientales en caso de accidente.

(Grandes puertos con tráfico de productos contaminantes, inflamables o peligrosos debiéndose adoptar los valores mayores de la Vida Util si las Areas de Navegación y Flotación están situadas en zonas urbanas o de elevado valor medioambiental, etc).

molcadores disponibles, o en función de cualquier otra condición particular que se haya definido en cada caso.

- Los requerimientos básicos de remolque que se precise disponer para la utilización de las Areas de Navegación o Flotación por determinados tipos de buque, asociados a las condiciones climáticas en que puedan desarrollarse estas maniobras en Condiciones Normales de Operación.

Un Area de Navegación o Flotación no queda definida, por tanto, solamente por sus características geométricas y su balizamiento, sino también por sus condiciones operativas y por la necesidad o no de utilización de remolcadores u otras ayudas a la navegación, circunstancias que determinan, no sólo el que pueda disponerse de mayores o menores porcentajes de tiempo aptos para la operación de los buques, sino también las propias dimensiones de los espacios de agua requeridos.

## **2.4. CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO**

**2.4.1.** El criterio fundamental para la definición y dimensionamiento de los elementos que definen un Area de Navegación o Flotación es la seguridad de las maniobras y operaciones que se desarrollen en ellos, a tal fin, y con independencia de los criterios generales de seguridad especificados en la Tabla 2.1., se recogen en el apartado 2.5 de esta Sección los criterios de riesgo/seguridad recomendados atendiendo a la incidencia y características de cada caso.

Una vez fijados los criterios de seguridad podrá entrarse en un análisis económico de alternativas que determine la solución más idónea para el supuesto que se considere, en el bien entendido que cualquier alternativa que se analice deberá respetar como mínimo los factores de seguridad previamente definidos.

El análisis económico y la posible minoración (o mayoración) de inversiones que se derive de él no debe conllevar en ningún caso una merma de la seguridad, sino una reducción (o incremento) de los tiempos de operatividad de la zona que se considere. Cada Autoridad Portuaria, Propietario o responsable de estas áreas podrá decidir, basándose en consideraciones económicas o comerciales, si, por ejemplo, un canal se draga a una u otra cota en función de las mareas, los oleajes o cualquier otra circunstancia existente en la zona, pero la consecuencia de esta decisión no será que los buques entren con mayor o menor riesgo de tocar fondo, sino que el canal permanecerá más o menos tiempo abierto para determinadas operaciones. El análisis económico contrapone por tanto inversión a operatividad, pero no inversión a riesgo, ya que los requerimientos de seguridad recomendados deben mantenerse en todo caso.

**2.4.2.** El procedimiento recomendado para efectuar los diferentes estudios que conducen a la definición de un Area de Navegación o Flotación es el siguiente:

- 1.º Determinar la Vida Útil, en función del tipo de Obra que se trate y de los Niveles de Seguridad requeridos, así como los Riesgos máximos admisibles según los criterios que se definen en esta Recomendación.
- 2.º Establecer las características de la flota de buques que operará en la zona en los diferentes años horizonte que vayan a considerarse dentro de la Vida Útil; en general se dispondrá de varias hipótesis de configuración de la flota atendiendo a las previsiones de tráfico.

Según sea la complejidad del procedimiento de dimensionamiento que se adopte de los definidos en esta Recomendación, podrá ser suficiente con concretar los buques más desfavorables, o será necesario conocer la composición de la flota por tramos, estableciendo los buques más representativos de cada tramo.

- 3.º Cuantificar el número de operaciones de buques que se prevé efectuar en los diferentes años horizonte. Según la complejidad del método que se utilice puede ser necesario conocer solamente el número de operaciones de los buques más desfavorables o el de todos los buques, desglosando esta información en el mismo número de tramos que se haya utilizado en el apartado anterior.

Para la realización de este estudio generalmente bastará con información acumulada de carácter anual, a no ser que los fenómenos de estacionalidad de tráfico o de

presencia de condiciones climáticas u otros, aconsejen utilizar períodos de evaluación más reducidos (semestrales, trimestrales, etc.).

- 4.° Prefijar las condiciones climáticas marítimas y atmosféricas límites para las distintas maniobras de buques que puedan desarrollarse en la zona que se considere. Estas condiciones podrán ser diferentes para los distintos tipos de buques o incluso variarse para un mismo tipo de buque según tamaños o características de los mismos.

En ausencia de criterios al respecto, se recogen en esta Recomendación las condiciones climáticas que suelen utilizarse habitualmente como límites de operación para las maniobras de buques que pueden realizarse en las diferentes áreas. En caso de utilizarse valores no contrastados por la experiencia local deberá verificarse previamente su idoneidad para el caso concreto que se analice.

- 5.° Prefijar las condiciones operativas de los buques asociados a las maniobras que se consideren en cada zona. Para los procedimientos más sencillos de análisis recogidos en esta Recomendación será necesario precisar aspectos muy elementales (velocidad del buque, porcentaje de carga, etc.); para los análisis más complejos habrá que tomar otros muchos factores relativos a la navegación del buque.

Como parte de este proceso se establecerá la asistencia o no de remolcadores en algunas de las maniobras, evaluándose los requerimientos mínimos que deberán satisfacer en función de las características de los buques, del emplazamiento, de las condiciones medioambientales límites de operación, etc.

- 6.° Efectuar el dimensionamiento geométrico del área que se analice tomando en consideración los sistemas de balizamiento y ayudas a la navegación que se prevea desarrollar al respecto. En la realización de este dimensionamiento podrá seguirse, según esta Recomendación, dos procedimientos:

— *Determinístico*

Con este método la dimensión geométrica de las diferentes áreas en planta y alzado, se calcula por adición de varios factores que, en la mayor parte de los casos, ya sea mediante tabulaciones o formulaciones matemáticas, conducen a un resultado concreto y cierto. Esta terminología se mantiene aunque las tablas y formulaciones matemáticas sean reflejo de análisis estadísticos y aunque en algunas de las variables se mantenga un tratamiento estadístico de las mismas que permita asociar el dimensionamiento al riesgo que se haya fijado para el diseño.

En este procedimiento determinístico los factores de seguridad son uno más de los sumandos que intervienen en la cuantificación de las dimensiones geométricas y en su valoración, así como en la de otros factores, se toman en consideración aspectos asociados al riesgo, con lo cual el dimensionamiento resultante puede ajustarse a las características específicas de cada caso.

— *Semiprobabilístico*

En este procedimiento el dimensionamiento geométrico se basa fundamentalmente en el análisis estadístico de la ocupación de espacios por los buques en las diferentes maniobras que se consideren, lo que permite asociar con mayor precisión matemática el dimensionamiento resultante al riesgo previamente establecido en cada caso.

La aplicación práctica de este método obliga a realizar estudios en simulador, ensayos a escala reducida o mediciones en tiempo real, que permitan disponer de una base de datos estadísticos suficientemente representativa para la fiabilidad del método.

En este procedimiento los factores de seguridad podrían introducirse en el propio análisis estadístico, sin más que exigir unas probabilidades de excedencia o unos riesgos más reducidos; sin embargo, en homogeneidad con otras Recomendaciones del programa ROM, que utilizan el sistema de coeficientes parciales de seguridad, se ha optado por introducir la seguridad como un resguardo adicional a considerar en las dimensiones correspondientes (planta o alzado), valorado con los mismos criterios del método determinista. De esta manera se homogeneizan los dos procedimientos, ya que ambos valoran por diferentes sistemas e espacio ocupado por los buques en condiciones homogéneas, y sobre estos espacios se incrementan los recomendados como márgenes de seguridad.

Asimismo y en el caso de que los simuladores o modelos no permitan tomar en consideración algunos otros factores que afecten al dimensionamiento (balizamiento, aterramientos, etc) se adoptarán los mismos procedimientos de valoración que en el método determinístico.

El procedimiento semiprobabilístico permitirá conocer con mayor precisión que el determinístico el riesgo asociado a unas dimensiones geométricas y, en consecuencia, permitirá afinar más el diseño. El método determinístico no permitirá cuantificar el riesgo en los mismos términos numéricos, lo cual no implica que este riesgo no esté considerado adoptando valores del lado de la seguridad basados en experiencias de proyectos similares. Con el análisis determinístico podrán resolverse la totalidad de los casos a nivel de estudios previos, anteproyectos, estudios económicos, etc e incluso podrá utilizarse para el proyecto definitivo siempre que se adopten las normas de buena práctica en el diseño y operación del Área de Navegación o Flotación que se recogen en esta Recomendación. El método semiprobabilístico, con el consiguiente recurso al estudio en simuladores o procedimientos similares, será necesario cuando se trate de casos especiales, sobre los que se alerta a lo largo de esta Recomendación, o cuando en casos normales se quiera optimizar el diseño, en sentido amplio, de los elementos que definen el Área de Navegación o Flotación.

- 7.º Determinar en función de las condiciones climáticas límites que se hayan fijado para la operación en Condiciones Normales, los tiempos en los que el Área de Navegación o Flotación permanecerá cerrada por encontrarse «bajo mínimos», utilizando para ello los Regímenes Medios o funciones de distribución de la frecuencia de presentación de las variables que se consideren. En los casos en que la operatividad del área sea sensible no sólo a estos tiempos de cierre expresados en porcentajes sobre el tiempo total, sino también a la duración que pudieran tener estos períodos de inactividad, será necesario disponer de los Regímenes de Duración de las diferentes variables que se contemplen (se define duración de un determinado valor umbral del parámetro o de la variable en un intervalo de tiempo, al tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos de su valor por aquel valor umbral).
- 8.º En el caso de que se desee efectuar un estudio económico del proyecto, que asocie la operatividad del Área de Navegación o Flotación a las inversiones realizadas, tal estudio se efectuará tomando en consideración que la paralización efectiva de la zona exigiría no sólo que ésta se encontrase «bajo mínimos» climáticos sino también que en esas circunstancias existiese una demanda de utilización de tales espacios por los buques que pudieran acceder a la zona, para lo cual será necesario considerar la probabilidad de presentación conjunta de ambos sucesos, utilizando para ellos los análisis efectuados según los puntos 7.º y 3.º de este apartado.

En el supuesto de que de este análisis se concluyese la inviabilidad del proyecto (ya sea por el elevado volumen de inversiones, o por los costos ocasionados por la paralización efectiva del área, o por otras razones asociadas al nivel de servicio mínimo que quisiera establecerse para esa zona en concreto), se estudiarían soluciones alternativas que podrían modificar todos o algunos de los elementos que definen el Área de Navegación o Flotación, por ejemplo, reducir los límites de operación en condiciones Normales con lo que se conseguiría un proyecto más económico aunque con un peor nivel de servicio, o mejorar la dotación de remolcadores para permitir la operación en condiciones más desfavorables, lo que mejoraría el nivel de servicio aumentando la inversión en ayudas a la navegación, etc.

El criterio básico para el estudio de estas alternativas y para la selección al final de la más idónea en cada caso, es que en cualquiera de ellos se mantengan los criterios de seguridad adecuados al Área que se considere, ya que, como se indicó anteriormente la optimización económica nunca debe conllevar una merma de la seguridad requerida.

## **2.5. CRITERIOS DE VALORACION DE DIMENSIONES GEOMETRICAS**

**2.5.1** La definición geométrica de las Áreas de Navegación y Flotación está basada en el conocimiento de los espacios ocupados por los buques, que dependen de:

- El propio buque y los factores que afectan a sus movimientos.
- El nivel de las aguas y los factores que afectan a su variabilidad.

Para que la navegación se efectúe en condiciones de seguridad, estos espacios ocupados por el buque deberán tener cabida suficiente dentro de los espacios físicos disponibles en el emplazamiento, para lo cual será necesario tomar en consideración los factores de incertidumbre relacionados con el contorno (suelo, paramentos, otros buques navegando o en flotación, elementos que afecten a los gálibos aéreos, etc).

**2.5.2.** Con objeto de mantener un adecuado margen de seguridad, se precisa disponer de unos espacios adicionales entre los requeridos por los buques y los disponibles según las condiciones de contorno del emplazamiento, que se introducen para tener en cuenta, entre otros, los factores que no pueden ser modelizados adecuadamente en los procesos de cálculo, el grado de fiabilidad estadística de los datos de partida, la incertidumbre en los métodos de determinación del comportamiento del buque, etc.

Los coeficientes de seguridad de otras Normas y Recomendaciones de dimensionamiento son, por tanto, aquí, Márgenes o Resguardos de Seguridad y se trata por tanto de espacios adicionales que deben añadirse a los requeridos por los buques, para verificar que estos espacios, suma de ambos, tienen cabida en los espacios disponibles en el emplazamiento. La relación de verificación de los requisitos de seguridad para las dimensiones de un Área de Navegación o Flotación, vendrá expresada así por:

$$X_e \geq X_b + X_s$$

en donde:

$X_e$  = Espacio disponible en el emplazamiento

$X_b$  = Espacio ocupado por el buque

$X_s$  = Resguardo de Seguridad

**2.5.3.** La valoración de espacios se efectuará cuantificando las dimensiones geométricas de las superficies exteriores que delimitan sus contornos. Para cada una de estas dimensiones geométricas (que podría ser una altura o una anchura) se utilizará como Valor Representativo su Valor Característico ( $X_k$ ), que se define como aquel valor de la dimensión asociado a una probabilidad de excedencia durante la vida de proyecto asignada a cada una de las Fases e Hipótesis de Trabajo.

Dado que la verificación de la Seguridad no se introduce mayorando los Valores Característicos de las dimensiones mediante un factor multiplicador, sino introduciendo unos Márgenes o Resguardos de Seguridad adicionales, la comprobación de la seguridad quedará así expresada por:

$$X_{ek} \geq X_{bk} + X_{sd}$$

en donde:

$X_{ek}$  = Valor característico de la dimensión que define el espacio disponible en el emplazamiento

$X_{bk}$  = Valor característico de la dimensión que define el espacio ocupado por el buque

$X_{sd}$  = Resguardo de seguridad aplicable a la dimensión que se considera (anchura, profundidad, gálibo, etc.)

**2.5.4.** Para la valoración de los Resguardos de Seguridad se tomará en consideración los diferentes supuestos de riesgo que pueden presentarse atendiendo a la siguiente tipología de modos de fallo o Estados Límite Últimos (ELU):

- Colisión entre embarcaciones en navegación.
- Colisión de una embarcación en navegación con un objeto flotante (embarcación fondeada o amarrada, boya, etc.).
- Impacto de un buque con un objeto fijo rígido (muelle, pila o tablero de un puente, etc.).
- Contacto de un buque con el fondo o taludes del suelo, tomando en cuenta la naturaleza de éste, así como la posibilidad de que se produzca una varada.

En los capítulos VII y VIII se establecen los Resguardos de Seguridad recomendados, en función de la naturaleza del Area que se considere y de los riesgos que pueden presentarse en cada caso.

**2.5.5.** Los valores característicos de las dimensiones que definen el emplazamiento se determinarán por su valor nominal donde sea conocido o pueda garantizarse; en ausencia de datos podrá determinarse mediante un análisis estadístico, adoptando el valor que minimiza el espacio de agua o aéreo disponible correspondiente al 1 % de probabilidad de excedencia con un intervalo de confianza del 95%. A reserva de estudios específicos podrá suponerse que las dimensiones se ajustan a una distribución normal. Asimismo se tomará en consideración los errores que puedan provenir del sistema de medición y registro de datos.

En el capítulo VII se establecen recomendaciones específicas al respecto en relación con la Profundidad de agua, dado que es la dimensión del emplazamiento cuyo conocimiento tiene una especial transcendencia a los efectos de esta Recomendación.

**2.5.6.** Los valores característicos de las dimensiones que definen el espacio ocupado por los buques se determinarán, en la medida que sea posible, a partir de datos estadísticos, adoptando el valor asociado al nivel de riesgo admisible (E), que se define como la probabilidad de que se produzca al menos un fallo (contacto, varada, impacto o colisión tal como se describen en el apartado 2.5.4) de al menos un buque durante la vida útil de la fase del proyecto que se analice ( $L_f$ ).

Los máximos riesgos admisibles para la Fase de Servicio se recogen en la Tabla 2.2. Para la Fase de Construcción se adoptarán los mismos riesgos admisibles, a no ser que se justifique que puedan ser menores.

En la actualidad no se dispone de estudios estadísticos de fallos que permitan calcular dimensiones basándose en el Régimen Extremal de la variable que se considere, por lo que será necesario recurrir a procedimientos que permitan calcular el Riesgo, tomando en consideración los siguientes aspectos:

- La Vida útil ( $L_f$ ) del Area y fase que se analiza.
- El número de buques por año ( $N_a$ ) que se prevé operarán en el año medio representativo de toda la Vida Útil del área y fase que se analiza.
- La frecuencia de presentación de los buques, desglosado en tipos o categorías de características homogéneas en relación con sus condiciones de maniobrabilidad para el caso que se analiza ( $f_{bi}$ ). A este respecto en el Capítulo III se establece una clasificación de los buques en función de sus características de maniobrabilidad, recomendándose establecer en cada grupo varios subgrupos según sus dimensiones y condiciones de carga. De cada subgrupo que así se considere se adoptará el buque más desfavorable como representativo de todos ellos. Esta frecuencia de presentación se expresará en «tanto por uno» en relación con el número de buques por año « $N_a$ » que se prevé operarán en el año medio representativo de toda la Vida Útil y Fase que se analice.
- La frecuencia de presentación de las condiciones de operatividad en las que puedan desarrollarse las maniobras que se analicen. Para una correcta evaluación del Riesgo se recomienda establecer varios subgrupos hasta alcanzar las condiciones límite que definan las Condiciones Normales de Operación, determinando la frecuencia de presentación de cada uno de estos subgrupos ( $f_{oj}$ ). De cada subgrupo que así se considere, se adoptarán las condiciones operativas más desfavorables de su límite superior como representativas de todo el intervalo. Esta frecuencia de presentación se expresará en «tanto por uno» en relación con el año medio.

Para la configuración de estos subgrupos de condiciones de operación se tomará en consideración la posible interdependencia de las variables (por ejemplo oleajes asociados a vientos o corrientes asociadas a condiciones de marea).

- El Número probable de maniobras de cada tipo de buque asociada a unas determinadas condiciones de operatividad que se prevé realizar durante toda la Vida Útil del Area que se analiza. Este número de maniobras ( $N_{ij}$ ) será:

$$N_{ij} = f_{bi} \cdot f_{oj} \cdot L_f \cdot N_a$$



**TABLA 2.2. RIESGOS MAXIMOS ADMISIBLES  $E_{max}$  PARA LA DETERMINACIÓN, A PARTIR DE DATOS ESTADÍSTICOS, DE VALORES CARACTERÍSTICOS DE LAS DIMENSIONES QUE DEFINEN EL ESPACIO OCUPADO POR LOS BUQUES**

a) RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERIAS

		POSIBILIDAD DE PERDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSION ECONOMICA EN CASO DE FALLO (ELU) <i>Indice : <math>\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}</math></i>	BAJA	0,50	0,30
	MEDIA	0,30	0,20
	ALTA	0,25	0,15

b) RIESGO DE DESTRUCCION TOTAL

		POSIBILIDAD DE PERDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSION ECONOMICA EN CASO DE FALLO (ELU) <i>Indice : <math>\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}</math></i>	BAJA	0,20	0,15
	MEDIA	0,15	0,10
	ALTA	0,10	0,05

Se adoptará como riesgo máximo admisible el de iniciación de averías o el de destrucción total atendiendo a la importancia de los daños sobre él o los buques afectados y a la incidencia que estos daños puedan ocasionar en la operación del área que se analiza o de otras zonas afectadas por ella.

En el caso de que los daños previsibles para los buques no afecten significativamente a su navegabilidad o cuando las consecuencias del fallo no conlleven la interrupción del tráfico marítimo general de la zona por períodos superiores a 2 días en el caso de puertos o instalaciones de carácter supranacional, 5 días en el caso puertos e instalaciones de interés general o 10 días en el resto de los casos, podrán adoptarse los valores de riesgo correspondientes a iniciación de averías. En los demás casos se adoptarán los valores correspondientes al riesgo de destrucción total.

**LEYENDA:**

• POSIBILIDAD DE PERDIDAS HUMANAS

- Reducida: Cuando no es esperable que se produzcan pérdidas humanas en caso de accidente.
- Esperable: Cuando es previsible que se produzcan pérdidas humanas en caso de accidente.

• REPERCUSION ECONOMICA EN CASO DE FALLO

$$\text{Indice } r_e = \frac{\text{Coste de pérdidas directas e indirectas}}{\text{Inversión}}$$

- BAJA:  $r_e \leq 5$
- MEDIA:  $5 < r_e \leq 20$
- ALTA:  $r_e > 20$

en esta expresión el producto  $L_f \cdot N_a$  representa el número total de operaciones de buques que se prevé realizar durante toda la Vida Útil que se considere.

- La probabilidad de excedencia ( $p_{ij}$ ) de que un espacio cualquiera ( $X_o$ ) sea sobrepasado por un buque del tipo ( $i$ ) en las condiciones de operatividad del intervalo ( $j$ ), en el desarrollo de una maniobra independiente, es decir:

$$P_{ij} = P_{ti}(X_n > X_o)$$

Para la valoración de espacios que dependan de variables de las que exista una amplia base estadística (por ejemplo los movimientos verticales de un buque debidos al oleaje) podrán utilizarse las leyes de distribución estadística contrastadas por la experiencia. En los casos en los que no exista esta base estadística (por ejemplo la ocupación de espacio en planta en maniobras de buques efectuadas en tiempo real) será necesario definir estas distribuciones estadísticas, para lo cual se establecen recomendaciones específicas en los Capítulos VIII y IX.

Conocidos los datos anteriores y prefijado un valor de la variable ( $X_o$ ), la determinación del Riesgo ( $E_{ij}$ ) asociado a la operación de los buques de tipo ( $i$ ) en las condiciones de operatividad del intervalo ( $j$ ) será:

- Para vidas útiles  $L_f \geq 10$  años

$$E_{ij} = 1 - (1 - p_{ij})^{N_{ij}}$$

- Para vidas útiles  $L_f$  comprendidas entre 1 y 10 años puede aplicarse la siguiente simplificación de la fórmula anterior

$$E_{ij} = 1 - e^{-N_{ij} \cdot p_{ij}}$$

El riesgo asociado a todos los buques y a todas las condiciones de operatividad previstas en las Condiciones Normales de Operación, será:

$$E = 1 - \prod_{ij} (1 - E_{ij})$$

siendo  $\prod_{ij}$  el producto de todos los valores correspondientes a todos los tipos de buques en todos los intervalos de condiciones de operatividad.

En el supuesto de que este riesgo así calculado sea superior al máximo admisible ( $E_{max}$ ), será necesario considerar un nuevo valor de la variable ( $X_o$ ) hasta conseguir este ajuste; este proceso también será necesario realizarlo en el caso de que el riesgo calculado sea sensiblemente menor del máximo admisible ya que en caso contrario se estarían sobredimensionando los espacios.

## 2.6. VALORACION DE CASOS ACCIDENTALES

Se entienden por Casos Accidentales, aquellos supuestos de carácter fortuito o anormal que no provienen de las meras dificultades de gobierno del buque en Condiciones Normales de Operación. Cabría citar entre ellos los fallos en la máquina o el timón del buque, averías en la actuación de los remolcadores, roturas de cabos de amarre, etc.

Pueden considerarse como supuestos de carácter variable con pocas probabilidades de actuación, o que presentan pequeñas duraciones de manifestación a lo largo de la Vida Útil del área que se considere, pero que, de producirse, su efecto puede ser significativo para la seguridad.

Si bien estos casos accidentales no deben ser la base para el dimensionamiento de los elementos de las Areas de Navegación y Flotación, se aconseja contemplar la incidencia de estos supuestos en el dimensionamiento, tomando en consideración que en estos casos los Márgenes de Seguridad podrán ser reducidos o eliminados según la valoración que, en cada caso, se haga de las consecuencias del accidente.

**CARACTERISTICAS  
DE MANIOBRABILIDAD  
DE LOS BUQUES**

---

**PARTE 3**



# CARACTERISTICAS DE MANIOBRABILIDAD DE LOS BUQUES

## PARTE 3

### Indice

<b>3.1. BUQUE DE PROYECTO</b> .....	79
<b>3.2. FACTORES QUE AFECTAN A LA MANIOBRABILIDAD DE LOS BUQUES</b> .....	84
<b>3.3. SISTEMAS DE PROPULSION</b> .....	85
3.3.1. PLANTA PROPULSORA .....	85
3.3.2. ACCION DE LAS HELICES .....	89
3.3.3. OTROS TIPOS DE PROPULSORES .....	91
3.3.4. NAVEGACION A VELA .....	93
3.3.5. NAVEGACION A REMOLQUE .....	94
<b>3.4. ACCION DEL TIMON</b> .....	94
3.4.1. FUNCION DEL TIMON .....	94
3.4.2. FUERZAS GENERADAS EN EL TIMON. MOMENTO EVOLUTIVO .....	95
3.4.3. EFECTO ESCORA DEBIDO AL TIMON .....	97
<b>3.5. ACCION COMBINADA DE HELICE Y TIMON</b> .....	97
<b>3.6. ACCION DE LAS HELICES TRANSVERSALES</b> .....	99
<b>3.7. ACCION DE LAS AMARRAS</b> .....	100
<b>3.8. ACCION DEL ANCLA Y LA CADENA</b> .....	101
<b>3.9. OTRAS CARACTERISTICAS DE MASA E INERCIA DEL BUQUE QUE INCIDEN EN SU MOVIMIENTO</b> .....	103



3.01.	Esquema de propulsión mecánica .....	86
3.02.	Esquema tipo de hélice .....	89
3.03.	Hélice de paso variable .....	91
3.04.	Hélice en tobera .....	92
3.05.	Hélice de eje vertical .....	92
3.06.	Navegación a vela .....	93
3.07.	Esquema de actuación del timón (barco avante con máquinas avante) .....	95
3.08.	Esquema de actuación del timón (barco atrás con máquinas atrás) .....	96
3.09.	Carga en el timón .....	96
3.10.	Hélice transversal .....	99
3.11.	Efecto de una amarra .....	101
3.12.	Secuencia de trabajo de un ancla sin cepo .....	102





---

3.1.	Dimensiones medias de buques a plena carga .....	81
3.2.	Potencia $W_0$ de buques modelo .....	88
3.3.	Caida de la proa al maniobrar buques de una hélice de paso a derecha .....	98



## PARTE 3

---

### 3.1. BUQUE DE PROYECTO

#### 3.1.1. DEFINICION DEL BUQUE DE PROYECTO

El Buque de Proyecto es el que se utilizará para el dimensionamiento de los accesos y Áreas de Flotación. Dado que estas áreas serán utilizadas normalmente por distintos tipos de buques, cuyas dimensiones y otras características de maniobrabilidad pueden ser muy diferentes, normalmente será necesario definir como Buque de Proyecto un conjunto de varios buques representativos de los diferentes tipos de barcos y condiciones de carga con las que operarán en el Area que se analice, con objeto de asegurar que el dimensionamiento realizado permita la operación en condiciones de seguridad de cualquiera de ellos, así como de los otros buques que tengan que operar en simultaneidad con ellos en tales áreas.

Se hace notar que, tal como se definió en el apartado 2.3, los elementos que definen un Area de Navegación y Flotación, incluyen no sólo la configuración geométrica de los espacios, sino también otras condiciones de operación, que normalmente no serán idénticas para todos los tipos de buques; por esta razón es posible que el buque de mayores dimensiones que vaya a operar en un Area no sea el Buque de Proyecto, ya que normalmente los criterios de explotación que se adopten para la operación de este buque conlleven unos menores requerimientos de espacio de los que pudieran precisarse para buques algo menores. Por otra parte y como ya se analizará en capítulos posteriores, las dimensiones geométricas en planta o en alzado de las Areas de Navegación y Flotación dependen fundamentalmente de parámetros diferentes del buque (calado, eslora, manga, superficie expuesta al viento, condiciones de maniobrabilidad, etc.), por lo que será necesario considerar como Buques de Proyecto aquéllos asociados a las condiciones más desfavorables de las características que sean determinantes en cada caso.

Resumiendo lo anteriormente expuesto, las Areas de Navegación y Flotación se dimensionarán para los Buques de Proyecto de mayores exigencias que puedan operar en la zona que se considere, según las condiciones de operación de la misma, suponiendo que el barco se encuentra en las condiciones de carga más desfavorables. En ausencia de condiciones específicas de operación, el Proyectista fijará como Buque de Proyecto en cada uno de los tipos de barco que analice, el de mayor desplazamiento, analizando para cada uno de ellos la condición de máxima y mínima carga compatibles con el uso genérico asignado a las obras proyectadas.

Se define como desplazamiento ( $\Delta$ ) al peso total del buque, equivalente al peso del volumen de agua desplazada.

**3.1.2.** La utilización de las áreas de flotación con carácter excepcional por buques de mayores exigencias de las previstas en el proyecto inicial exigirá la comprobación de las condiciones de operación correspondientes a los nuevos buques, determinándose las condiciones más limitativas en que tendrá que operar dicho buque para que no se superen los resguardos de seguridad establecidos en el proyecto.

**3.1.3.** Los parámetros más usuales utilizados para definir un buque y expresar su tamaño y capacidad de carga son:

— Toneladas de Peso Muerto (TPM): Peso en toneladas métricas correspondiente a la carga útil máxima más el combustible y aceite lubricante, agua y pañoles, tripulación y pertrechos.

- Arqueo bruto de un buque (GT): Volumen o capacidad interior total de todos los espacios cerrados del buque, determinando con las disposiciones del Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de 1969, de la OMI
- Toneladas de Registro Bruto (TRB): Volumen o capacidad interior de un buque, medido en toneladas Moorson o toneladas de registro. La tonelada Moorson equivale a 100 pies<sup>3</sup>, es decir a 2,83 m<sup>3</sup>.

Este parámetro es una denominación utilizada anteriormente para definir el arqueo de un buque, que se está sustituyendo progresivamente por la denominación anterior (GT).

Algunas tipologías específicas de buques se designan habitualmente mediante otros parámetros. Así es el caso de los buques metaneros y transportadores de gases licuados que se designan por su capacidad de carga en m<sup>3</sup>, o los portacontenedores que se designan por su capacidad en unidades TEU (Twenty Feet Equivalent Unit, Número de contenedores tipo de 20 pies, equivalentes), sin que pueda establecerse una relación fija precisa entre estos parámetros y cualquiera de los tres citados anteriormente.

La utilización de cualquiera de los parámetros anteriormente descritos (D,TPM, TRB, GT, etc.), si bien son de uso habitual, ninguno de ellos es suficientemente representativo de las características de maniobrabilidad del buque, como para que pueda ser utilizado con carácter sistemático para definir el Buque de Proyecto. El Tonelaje de Peso Muerto (TPM) puede servir como índice de referencia para los buques que se utilicen fundamentalmente por cargas de alta densidad (petroleros, graneleros, etc.), mientras que el Arqueo Bruto (GT) es más indicado para los buques que transportan cargas de baja densidad y en los que su capacidad de carga está mejor identificada por un volumen que por un peso (ferries, buques de pasaje, etc.). En cualquier caso y dado que la relación entre estos parámetros no es homogénea para todos los tipos de buques, ni siquiera es constante para un mismo tipo de buques variando con las dimensiones del barco, se recomienda que, en el caso de no disponer de una definición precisa de los barcos que se utilizarán como Buques de Proyecto, se utilicen las relaciones entre parámetros que se derivan de la Tabla 3.1., interpolando linealmente entre dos tamaños de buques de un mismo tipo, cuando se necesite.

En el caso de que se precise conocer el desplazamiento del buque en otras condiciones diferentes de la plena carga, que es el valor indicado en la Tabla 3.1., podrá considerarse que el Desplazamiento en Rosca (peso del buque según sale del astillero sin carga, lastre o combustible) es la diferencia entre el Desplazamiento a plena carga y el tonelaje de Peso Muerto, salvo en los casos en que el TPM no sea conocido, en los que podrá suponerse que el Desplazamiento en Rosca varía del 15% al 25% del Desplazamiento a plena carga. Si fuera preciso conocer el Desplazamiento en Lastre (desplazamiento en rosca más mínimo peso del lastre para que el buque pueda navegar y maniobrar en condiciones de seguridad) se supondrá que es igual al Desplazamiento en Rosca más un lastre variable entre el 20% y el 40% del TPM, dependiendo de las condiciones climáticas, salvo en los casos en que el TPM no sea conocido en la que podrá suponerse que el Desplazamiento en Lastre varía del 30% al 50% del Desplazamiento a plena carga, dependiendo de las condiciones climáticas (el mayor lastre se precisa cuando las condiciones climáticas son más severas).

**3.1.4.** Las dimensiones y características del Buque de Proyecto deberán ser suministradas al proyectista por las autoridades o propietarios de la instalación de acuerdo a la utilización prevista. Cuando las dimensiones de los buques no sean claramente conocidas, y a falta de información más precisa (por ejemplo, Lloyd's Register), podrán utilizarse para el proyecto de obras marítimas y portuarias las dimensiones medias de los buques deducidas de la Tabla 3.1, con los criterios siguientes:

- La Tabla recoge valores medios de todas las dimensiones y está determinada por el supuesto de buques a plena carga.
- Los Valores Característicos de cualquiera de los datos recogidos en la Tabla serán del 110% cuando se trate de determinar el Valor Característico Superior y del 90% cuando se trate de determinar el Valor Característico Inferior
- En cada caso se adaptarán las dimensiones con sus Valores Característicos más desfavorables para el supuesto que se analice, pudiendo combinarse en un mismo barco dimensiones que unas de ellas estén determinadas por su Valor Característico Superior y otras por el Inferior, siempre y cuando el coeficiente de bloque se mantenga en el intervalo 90/110% referido a su valor medio.

<b>TABLA 3.1. DIMENSIONES MEDIAS DE BUQUES A PLENA CARGA</b>							
Tonelaje de Peso Muerto (TPM)	Desplaza- miento ( $\Delta$ )	Eslora Total (L)	Eslora entre perpendicu- lares (Lpp)	Manga (B)	Puntal (T)	Calado (D)	Coefficiente de Bloque
t	t	m	m	m	m	m	
<b>Petroleros para crudo</b>							
500,000	590,000	415.0	392.0	73.0	30.5	24.0	0.86
400,000	475,000	380.0	358.0	68.0	29.2	23.0	0.85
350,000	420,000	365.0	345.0	65.5	28.0	22.0	0.85
300,000	365,000	350.0	330.0	63.0	27.0	21.0	0.84
275,000	335,000	340.0	321.0	31.0	26.3	20.5	0.84
250,000	305,000	330.0	312.0	59.0	25.5	19.9	0.83
225,000	277,000	320.0	303.0	57.0	24.8	19.3	0.83
200,000	246,000	310.0	294.0	55.0	24.0	18.5	0.82
175,000	217,000	300.0	285.0	52.5	23.0	17.7	0.82
150,000	186,000	285.0	270.0	49.5	22.0	16.9	0.82
125,000	156,000	270.0	255.0	46.5	21.0	16.0	0.82
100,000	125,000	250.0	236.0	43.0	19.8	15.1	0.82
80,000	102,000	235.0	223.0	40.0	18.7	14.0	0.82
70,000	90,000	225.0	213.0	38.0	18.2	13.5	0.82
60,000	78,000	217.0	206.0	36.0	17.0	13.0	0.81
<b>Transportadores de productos petrolíferos y químicos</b>							
50,000	66,000	210.0	200.0	32.2	16.4	12.6	0.81
40,000	54,000	200.0	190.0	30.0	15.4	11.8	0.80
30,000	42,000	188.0	178.0	28.0	14.2	10.8	0.78
20,000	29,000	174.0	165.0	24.5	12.6	9.8	0.73
10,000	15,000	145.0	137.0	19.0	10.0	7.8	0.74
5,000	8,000	110.0	104.0	15.0	8.6	7.0	0.73
3,000	4,900	90.0	85.0	13.0	7.2	6.0	0.74
<b>Graneleros y Polivalentes</b>							
400,000	464,000	375.0	356.0	62.5	30.6	24.0	0.87
350,000	406,000	362.0	344.0	59.0	29.3	23.0	0.87
300,000	350,000	350.0	333.0	56.0	28.1	21.8	0.86
250,000	292,000	335.0	318.0	52.5	26.5	20.5	0.85
200,000	236,000	315.0	300.0	48.5	25.0	19.0	0.85
150,000	179,000	290.0	276.0	44.0	23.3	17.5	0.84
125,000	150,000	275.0	262.0	41.5	22.1	16.5	0.84
100,000	121,000	255.0	242.0	39.0	20.8	15.3	0.84
80,000	98,000	240.0	228.0	36.5	19.4	14.0	0.84
60,000	74,000	220.0	210.0	33.5	18.2	12.8	0.82
40,000	50,000	195.0	185.0	29.0	16.3	11.5	0.80
20,000	26,000	160.0	152.0	23.5	12.6	9.3	0.78
10,000	13,000	130.0	124.0	18.0	10.0	7.5	0.78
<b>Metaneros</b>							
60,000	88,000	290.0	275.0	44.5	26.1	11.3	0.64
40,000	59,000	252.0	237.0	38.2	22.3	10.5	0.62
20,000	31,000	209.0	199.0	30.0	17.8	9.7	0.54
<b>Transportadores de Gases Licuados</b>							
60,000	95,000	265.0	245.0	42.2	23.7	13.5	0.68
50,000	80,000	248.0	238.0	39.0	23.0	12.9	0.67
40,000	65,000	240.0	230.0	35.2	20.8	12.3	0.65
30,000	49,000	226.0	216.0	32.4	19.9	11.2	0.62
20,000	33,000	207.0	197.0	26.8	18.4	10.6	0.59
10,000	17,000	160.0	152.0	21.1	15.2	9.3	0.57
5,000	8,800	134.0	126.0	16.0	12.5	8.1	0.54
3,000	5,500	116.0	110.0	13.3	10.1	7.0	0.54
<b>Portacontenedores (Post Panamax)</b>							
70,000	100,000	280.0	266.0	41.8	23.6	13.8	0.65
65,000	92,000	274.0	260.0	41.2	23.2	13.5	0.64
60,000	84,000	268.0	255.0	39.8	22.8	13.2	0.63
55,000	76,500	261.0	248.0	38.3	22.4	12.8	0.63

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
60,000	83,000	290.0	275.0	32.2	22.8	13.2	0.71
55,000	75,500	278.0	264.0	32.2	22.4	12.8	0.69
50,000	68,000	267.0	253.0	32.2	22.1	12.5	0.67
45,000	61,000	255.0	242.0	32.2	21.4	12.2	0.64
40,000	54,000	237.0	225.0	32.2	20.4	11.7	0.64
35,000	47,500	222.0	211.0	32.2	19.3	11.1	0.63
30,000	40,500	210.0	200.0	30.0	18.5	10.7	0.63
25,000	33,500	195.0	185.0	28.5	17.5	10.1	0.63
20,000	27,000	174.0	165.0	26.2	16.2	9.2	0.68
15,000	20,000	152.0	144.0	23.7	15.0	8.5	0.69
10,000	13,500	130.0	124.0	21.2	13.3	7.3	0.70
<b>Ro-Ro</b>							
50,000	87,500	287.0	273.0	32.2	28.5	12.4	0.80
45,000	81,500	275.0	261.0	32.2	27.6	12.0	0.80
40,000	72,000	260.0	247.0	32.2	26.2	11.4	0.79
35,000	63,000	245.0	233.0	32.2	24.8	10.8	0.78
30,000	54,000	231.0	219.0	32.0	23.5	10.2	0.75
25,000	45,000	216.0	205.0	31.0	22.0	9.6	0.75
20,000	36,000	197.0	187.0	28.6	21.0	9.1	0.75
15,000	27,500	177.0	168.0	26.2	19.2	8.4	0.74
10,000	18,400	153.0	145.0	23.4	17.0	7.4	0.73
5,000	9,500	121.0	115.0	19.3	13.8	6.0	0.71
<b>Mercantes de Carga Genera</b>							
40,000	54,500	209.0	199.0	30.0	18.0	12.5	0.73
35,000	48,000	199.0	189.0	28.9	17.0	12.0	0.73
30,000	41,000	188.0	179.0	27.7	16.0	11.3	0.73
25,000	34,500	178.0	169.0	26.4	15.4	10.7	0.72
20,000	28,000	166.0	158.0	24.8	13.8	10.0	0.71
15,000	21,500	152.0	145.0	22.6	12.8	9.2	0.71
10,000	14,500	133.0	127.0	19.8	11.2	8.0	0.72
5,000	7,500	105.0	100.0	15.8	8.5	5.4	0.74
2,500	4,000	85.0	80.0	13.0	6.8	5.0	0.77
<b>Transportadores de coches</b>							
30,000	48,000	210.0	193.0	32.2	31.2	11.7	0.66
25,000	42,000	205.0	189.0	32.2	29.4	10.9	0.63
20,000	35,500	198.0	182.0	32.2	27.5	10.0	0.61
15,000	28,500	190.0	175.0	32.2	25.5	9.0	0.56
<b>Buques de Guerra</b>							
16,000 (1)	20,000	172.0	163.0	23.0	—	8.2	0.65
15,000 (2)	19,000	195.0	185.0	24.0	—	9.0	0.48
5,000 (3)	5,700	117.0	115.0	16.8	—	3.7	0.80
4,000 (4)	7,000	134.0	127.0	14.3	—	7.9	0.49
3,500 (5)	4,600	120.0	115.0	12.5	—	5.5	0.58
1,500 (6)	2,100	90.0	85.0	9.3	—	5.2	0.51
1,500 (7)	1,800	68.0	67.0	6.8	—	5.4	0.73
1,400 (8)	1,800	89.0	85.0	10.5	—	3.5	0.58
750 (9)	1,000	52.0	49.0	10.4	—	4.2	0.47
400 (10)	500	58.0	55.1	7.6	—	2.6	0.46
<b>Transbordadores, Ferries (convencionales)</b>							
50,000	25,000	197.0	183.0	30.6	16.5	7.1	0.63
40,000	21,000	187.0	174.0	28.7	15.7	6.7	0.63
35,000	19,000	182.0	169.0	27.6	15.3	6.5	0.63
30,000	17,000	175.0	163.0	26.5	14.9	6.3	0.62
25,000	15,000	170.0	158.0	25.3	14.5	6.1	0.62
20,000	13,000	164.0	152.0	24.1	14.1	5.9	0.60
15,000	10,500	155.0	144.0	22.7	13.6	5.6	0.57

**NOTAS**

- |                           |                          |                |                 |
|---------------------------|--------------------------|----------------|-----------------|
| (1) Transporte de atraque | (4) Fragata lanzamisiles | (7) Submarino  | (10) Patrullero |
| (2) Portaaeronaves        | (5) Destructor           | (8) Corbeta    |                 |
| (3) Buque de desembarco   | (6) Fragata rápida       | (9) Dragaminas |                 |

<b>TABLA 3.1. (Continuación)</b>							
Tonelaje de Peso Muerto (TPM) t	Desplaza miento ( $\Delta$ ) t	Eslora Total (L) m	Esiora entre perpendicu lares (Lpp) m	Manga (B) m	Puntal (T) m	Calado (D) m	Coefficiente de Bloque
<b>Transbordadores Rápidos, Fast Ferries (valores provisionales)</b>							
<b>Catamarán</b>							
4,000	640	83.0	73.0	23.2 (1)	4.0	2.0 (3)	0.43 (4)
5,000	800	88.0	78.0	24.7 (1)	4.2	2.1 (3)	0.44 (4)
6,000	960	95.0	84.0	26.6 (1)	4.4	2.2 (3)	0.44 (4)
<b>Monocasco</b>							
8,000	1,280	102.0	87.5	15.4 (2)	5.0	2.5 (3)	0.45
10,000	1,600	112.0	102.0	16.9 (2)	5.2	2.5 (3)	0.45
15,000	2,400	128.0	120.0	19.2 (2)	5.4	2.7 (3)	0.47
20,000	3,200	140.0	133.0	21.0 (2)	5.8	2.9 (3)	0.49
<b>Cruceros de pasaje</b>							
80,000	44,000	272.0	231.0	35.0	20.0	8.0	0.68
70,000	38,000	265.0	225.0	32.2	19.3	7.8	0.67
60,000	34,000	252.0	214.0	32.2	18.8	7.6	0.65
50,000	29,000	234.0	199.0	32.2	18.0	7.1	0.64
40,000	24,000	212.0	180.0	32.2	17.3	6.5	0.64
35,000	21,000	192.0	164.0	32.2	17.0	6.3	0.63
<b>Pesqueros</b>							
3,000	4,200	90.0	85.0	14.0	6.8	5.9	0.60
2,500	3,500	85.0	81.0	13.0	6.4	5.6	0.59
2,000	2,700	80.0	76.0	12.0	6.0	5.3	0.56
1,500	2,200	76.0	72.0	11.3	5.8	5.1	0.53
1,200	1,900	72.0	68.0	11.0	5.7	5.0	0.50
1,000	1,600	70.0	66.0	10.5	5.4	4.8	0.48
700	1,250	65.0	62.0	10.0	5.1	4.5	0.45
500	800	55.0	53.0	8.6	4.5	4.0	0.44
250	400	40.0	38.0	7.0	4.0	3.5	0.43
<b>Embarcaciones deportivas (a motor)</b>							
—	50,0	24.0	—	5.5	—	3.3	—
—	35,0	21.0	—	5.0	—	3.0	—
—	27,0	18.0	—	4.4	—	2.7	—
—	16,5	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	—
<b>Embarcaciones deportivas (a vela)</b>							
—	60,0	24.0	—	4.6	—	3.6	—
—	40,0	21.0	—	4.3	—	3.0	—
—	22,0	18.0	—	4.0	—	2.7	—
—	13,0	15.0	—	3.7	—	2.4	—
—	10,0	12.0	—	3.5	—	2.1	—
—	3,5	9.0	—	3.3	—	1.8	—
—	1,5	6.0	—	2.4	—	1.5	—

**NOTAS**

- (1) La Manga efectiva de flotación de los dos cascos del catamarán es aproximadamente el 45/50% de la indicada, que corresponde a la manga máxima en la superestructura.
- (2) La manga de flotación es aproximadamente el 80/90% de la indicada, que corresponde a la manga máxima en la superestructura.
- (3) El calado indicado es sin estabilizadores (navegación lenta o parada). El calado con estabilizadores es aproximadamente un 70/80% mayor (navegación rápida).
- (4) El coeficiente de bloque está calculado con la manga efectiva de flotación de los dos cascos del catamarán.

- En el caso de que el Buque de Diseño venga caracterizado por el valor máximo de una de sus dimensiones geométricas (manga, calado, etc.) se considerará tal valor como característico, modificándose los demás con los criterios anteriores.

Cuando los buques estén en condiciones de carga parcial deberá recurrirse a curvas o tablas específicas para obtener el calado y el desplazamiento en esas condiciones, sin perjuicio de que puedan aproximarse por fórmulas empíricas de validez reconocida. En el caso de buques de formas muy llenas (petroleros, mineraleros, etc.) podrá suponerse que, en cualquier condición de carga, se mantiene constante el coeficiente de bloque (Desplazamiento/Eslora entre perpendiculares x Manga x Calado x  $\gamma_w$ ). Para otros tipos de buques se supondrá que el coeficiente de bloque del buque se mantiene constante para cualquier condición de carga comprendida entre el 60 y el 100% y puede tener decrementos de hasta el 10% del valor anterior para condiciones de carga inferiores al 60% de la plena carga. Con estas hipótesis podrían deducirse Tablas análogas a la 3.1 para buques en condiciones de carga parcial, suponiendo que las esloras y la manga se mantienen constantes y que la única dimensión geométrica variable es el calado; estas tablas así determinadas se entenderán correspondientes a condiciones medias y con los datos que se recojan en ellas se aplicarán los mismos criterios recogidos en el párrafo anterior para obtener Valores Característicos.

En el supuesto de que se utilice como Buque de Proyecto alguno cuyo desplazamiento sea superior al máximo recogido en la Tabla 3.1 para el tipo de barco que se considere y del que no se disponga de datos concretos de sus dimensiones y otras características de maniobrabilidad, se recomienda extrapolar de una forma continua y homogénea las curvas que relacionan las diferentes dimensiones con el desplazamiento del buque, utilizándose estas curvas extrapoladas para obtener una estimación de las dimensiones del buque que se necesite. Los valores así obtenidos podrían considerarse como dimensiones medias del Buque de Proyecto, si bien en estos casos sus Valores Característicos serán del 115% (en lugar del 110%) cuando se trate de determinar el Valor Característico Superior y del 85% (en lugar del 90%) cuando se trate de determinar el Valor Característico Inferior.

### 3.2. FACTORES QUE AFECTAN A LA MANIOBRABILIDAD DE LOS BUQUES

El modo como se comporta un buque cuando navega o maniobra depende de numerosos factores, entre los cuales se pueden mencionar : sus medios de propulsión, sistema de gobierno, forma de la carena, disposición de las superestructuras de su obra muerta, su calado, su trimado o asiento, condiciones de carga, las bajas profundidades o limitadas dimensiones de la masa de agua en que se mueve, la actuación de remolcadores y los efectos debidos a la existencia de vientos, corrientes y olas.

El comportamiento de un buque puede diferir mucho del de otro de distinto tipo, pero siempre hay principios básicos de maniobra que se aplican a todos en general. Para poder apreciar con cierta exactitud el movimiento que adquirirá un buque es indispensable conocer la naturaleza y magnitudes de las fuerzas que actúan sobre el mismo. Las fuerzas que influyen o pueden influir en el movimiento de un buque son múltiples: las aplicadas en la propulsión, timón, ancla y amarras, las producidas por la actuación de remolcadores y hélices de maniobras, las debidas al viento, corrientes y olas, las generadas por la succión de la orilla o la interacción entre buques, etc. Algunas de estas fuerzas son propias del buque o de las embarcaciones que auxilian a la maniobra; el maniobrista las puede dominar a su voluntad, y según como las use, les sacará o no el máximo de rendimiento. Otras son fuerzas ocasionadas por la naturaleza y escapan al control del maniobrista, pero pueden y deben ser utilizadas por éste para llevar a buen fin la maniobra.

Cada una de las fuerzas antes citadas puede producir efectos importantes sobre el buque que se maniobra, pero hay que tener presente que las mismas son sólo fuerzas y que su acción resultante sobre el movimiento de aquél se pondrá de manifiesto tomando en consideración los efectos de inercia. Todo buque, ya sea estando en reposo o una vez en movimiento, debido a su masa tiene gran inercia para oponerse a las aceleraciones lineales, y al mismo tiempo ofrece un momento de inercia considerable que se opone a las aceleraciones angulares.

En los apartados siguientes se analizan los cuatro elementos propios de la maniobra del buque ya citados anteriormente. El estudio de los factores externos y de la actuación de los remolcadores se recoge en los dos capítulos siguientes.



### 3.3. SISTEMAS DE PROPULSION

#### 3.3.1. PLANTA PROPULSORA

3.3.1.1. Todo cuerpo al moverse en el agua experimenta sobre si mismo una fuerza que se opone al movimiento, es decir, una resistencia al avance. La evaluación de esta resistencia es un proceso complejo que excede al alcance de esta Recomendación, precisando recurrir habitualmente a ensayos en modelo reducido, formulaciones complejas y modelos numéricos. A título indicativo se relacionan los factores más importantes que inciden en su determinación.

- La forma de la carena del buque.
- El estado de conservación de la carena.
- Los apéndices del buque que modifican la hidrodinámica de la carena (hélices, timón, etc.).
- El estado del mar (corrientes, oleajes, etc.).
- Las modificaciones en el estado del mar producidos por la propia navegación del buque.

Para vencer esta resistencia al avance es necesario disponer de un mecanismo que ejerza una fuerza opuesta a ella, mecanismo que se llama Propulsor, y a la fuerza producida por él se denomina empuje.

3.3.1.2. El sistema de propulsión mecánica formado por motor-reductor-eje-hélice es el procedimiento más habitual para la propulsión de los buques (Fig. 3.01) si bien el reductor suele eliminarse en los buques de mayores desplazamientos utilizándose la transmisión directa.

Cuando se analizan las cualidades de maniobra de cualquier buque, las primeras consideraciones a tener en cuenta, junto con el número y tamaño de hélices y timones, son la potencia y tipo de su planta propulsora. A igualdad de otros factores, cuanto mayor sea la potencia de máquinas de un buque, tanto más fácil resulta de maniobrar.

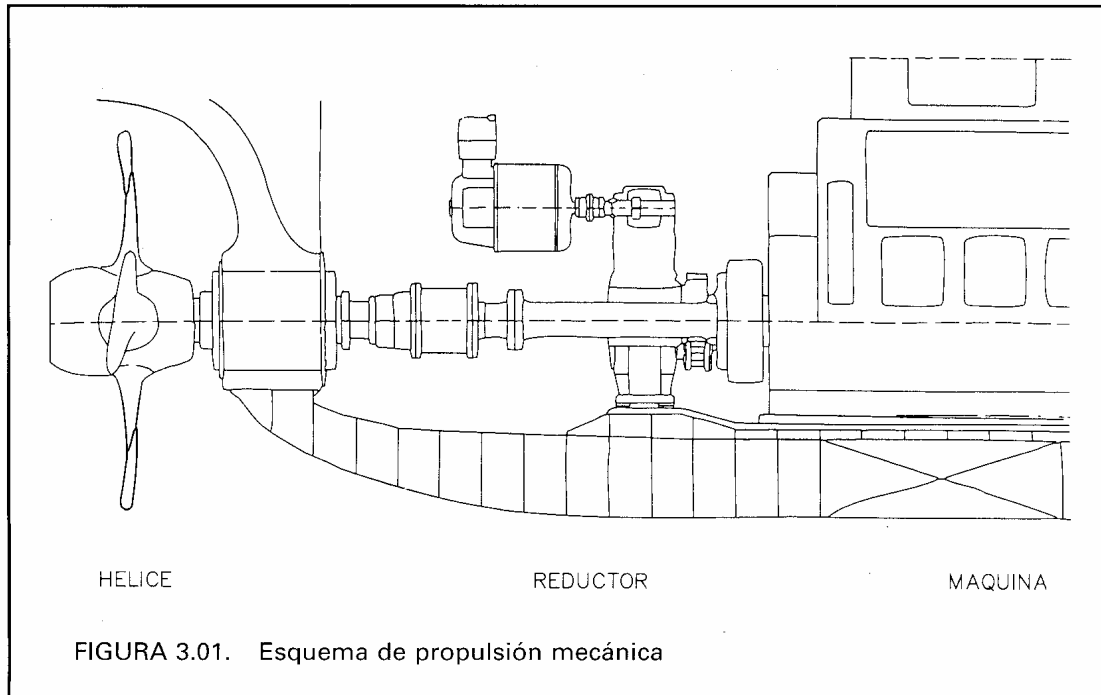
Para poder maniobrar bien un buque, debe conocerse la velocidad mínima a que las hélices pueden girar en marcha avante o atrás, como así también los tiempos muertos debidos a la transmisión y ejecución de las órdenes impartidas a máquinas. Estas características varían de un buque a otro y dependen fundamentalmente de sus sistemas de propulsión, razón por la cual resulta de interés resumir las particularidades más importantes que presentan estos sistemas, resumen que se recoge a continuación.

##### a) MAQUINAS DE VAPOR ALTERNATIVAS

- Pueden girar lentamente a pocas revoluciones tanto dando avante como atrás, lo que permite un buen control del buque a cualquier velocidad.
- Se paran casi instantáneamente, son de fácil inversión de marcha y dan rápidamente la máxima potencia en ambos sentidos.
- Disponen prácticamente de la misma potencia en marcha avante que atrás.
- La velocidad económica es igual o muy próxima a la de mayor rendimiento de la hélice.
- Tienen un buen arranque.

##### b) TURBINAS DE VAPOR

- Tienen un par de arranque pequeño.
- Tardan mucho en detenerse si no se las frena.
- No pueden ser frenadas rápidamente sin riesgos de averías.
- Su potencia atrás es muy reducida, del orden de 1/3 de la correspondiente a marcha avante, por lo que necesitan disponer generalmente de una turbina especial de menor potencia para dar atrás.



— Consumen mucho mayor cantidad de vapor en marcha atrás.

— Su velocidad económica es muy superior a la de mayor rendimiento de la hélice.

*c) MOTORES DIESEL DIRECTAMENTE ACOPLADOS A LOS EJES PROPULSORES*

— No pueden girar por debajo de un cierto régimen de velocidad relativamente elevado, la que suele corresponder a unos 4 o 5 nudos en buques ligeros.

— Disponen de la misma potencia avante que atrás.

— Se detienen casi instantáneamente.

— Tienen muy buen par de arranque.

*d) MOTORES DIESEL CON REDUCTOR*

— Debido a la existencia del reductor pueden utilizarse motores rápidos (de más de 500 revoluciones por minuto) y semirrápidos (comprendidas entre 150 y 500 revoluciones por minuto), además de los motores lentos.

— Son reversibles, disponiendo prácticamente de la misma potencia avante que atrás.

— Se detienen casi instantáneamente.

— Tiene muy buen par de arranque.

— Ocupan poco espacio.

— Pueden ser construidos desde muy bajas a muy altas potencias.

— Tienen consumos específicos inferiores a las turbinas de vapor,

*e) PROPULSION DIESEL-ELECTRICA Y TURBO-ELECTRICA*

— Las hélices pueden girar a muy pocas revoluciones avante o atrás.

— Dan rápida respuesta a las órdenes impartidas.

— Se detienen fácilmente.

- No puede invertir rápidamente las hélices.
- Tienen muy buen par de arranque.

**f) MOTORES DIESEL CON HELICE DE PASO VARIABLE**

- Se puede aplicar paso mínimo avante o atrás.
- Se dispone prácticamente de la misma potencia avante que atrás.
- Se puede parar o invertir el sentido de propulsión casi inmediatamente con las revoluciones normales del eje.

**g) TURBINAS DE GAS CON HELICE DE PASO VARIABLE**

- Se puede aplicar paso mínimo avante o atrás.
- Se dispone prácticamente de la misma potencia avante que atrás.
- Se puede parar o invertir el sentido de propulsión casi inmediatamente con revoluciones normales del eje.

Los distintos sistemas de propulsión presentan diferencias desde el punto de vista de su flexibilidad, fuerza, tiempos muertos, etc. De los sistemas que se acaban de citar anteriormente la propulsión diesel-eléctrica y turbo-eléctrica y las máquinas alternativas son los que ofrecen mayores ventajas generales y seguridad para la maniobra; las turbinas son las que presentan más inconvenientes y los motores diesel ocupan una posición intermedia. Por lo que se refiere a su frecuencia de uso los más utilizados son los motores diesel, seguidos de turbinas de vapor, turbinas de gas y propulsión diesel-eléctrica; las máquinas de vapor alternativas están prácticamente fuera de uso.

**3.3.1.3.** Para estudiar la operación de buques en modelos o en el simulador debe conocerse la planta propulsora para saber qué posibilidades y limitaciones ofrece durante la ejecución de las maniobras y la reserva disponible en casos de emergencia. Entre otras, debe disponerse de la siguiente información:

- Número de revoluciones o ángulo de pala de hélice a aplicar para obtener distintas velocidades, de nudo en nudo, para diferentes condiciones de carga y asiento, y, si correspondiera, corrección en porcentaje por casco sucio debido al tiempo transcurrido desde el último carenado.
- Velocidad máxima con determinadas calderas o turbinas de gas en servicio.
- Velocidades que se obtienen para diferentes r.p.m. y/o ángulos de pala cuando se navega con un solo eje propulsor.
- Número de revoluciones a partir del cual está permitido frenar las turbinas, si así se ha establecido para ciertas maniobras.
- Número mínimo de r.p.m. que puede dar la máquina funcionando ininterrumpidamente sin peligro de tener que parar.

**3.3.1.4.** La potencia  $W$ , necesaria para la propulsión de un buque depende de un elevado número de factores y en particular de las características geométricas de su carena; de una forma general puede expresarse mediante la fórmula siguiente, válida para velocidades de servicio del buque:

$$W = K_{VD} \cdot \Delta^{2/3} \cdot V_r^3$$

en donde:

$W$  = Potencia eficaz suministrada por la máquina.

$K_{VD}$  = Coeficiente dependiendo fundamentalmente de las características del buque y de las condiciones de funcionamiento consideradas, que se determina habitualmente mediante ensayos en canal.

$\Delta$  = Desplazamiento del buque.

$V_r$  = Velocidad relativa del buque con respecto al agua.

La aplicación correcta de esta fórmula, para todos los casos posibles, excede el alcance de esta Recomendación. De una manera más simplificada se puede utilizar un procedimiento aproximado que permite evaluar la potencia partiendo de la que sería necesaria para propulsar un buque modelo semejante de 1.000 t. de desplazamiento a la velocidad de 10 nudos; esta expresión, válida para velocidades de servicio del buque, sería:

$$W = W_o \cdot \left(\frac{\Delta}{1.000}\right)^{2/3} \left(\frac{V_r}{10}\right)^3$$

en donde:

$W$  = Potencia eficaz sometida por la máquina.

$W_o$  = Potencia del buque modelo semejante. Ver Tabla 3.2.

$\Delta$  = Desplazamiento del buque, en toneladas.

$V_r$  = Velocidad relativa del buque con respecto al agua, en nudos.

**3.3.1.5.** Conocida la potencia eficaz suministrada por la máquina en condiciones de servicio puede determinarse el empuje  $T_p$  correspondiente aplicado en el propulsor en tales condiciones, utilizando la ecuación:

$$W = T_p \cdot V_r$$

resultando por tanto la expresión general siguiente:

$$T_p = K \cdot \Delta^{2/3} \cdot V_r^2$$

en donde los diferentes símbolos tienen las expresiones indicadas anteriormente.

La determinación del empuje del propulsor en otros regímenes de marcha diferentes del de servicio podría determinarse mediante el mismo procedimiento, supuesto que se co-

<b>TABLA 3.2. POTENCIA <math>W_o</math> DE BUQUES MODELO</b>		
<b>GRADO DE VELOCIDAD</b>	<b>TIPO DE BUQUES</b>	<b><math>W_o</math> (CV)</b>
$V_r \cdot L_{pp}^{1/2} < 1.2$	Buques lentos (graneleros, petroleros, etc.)	200-250
$1,5 < V_r \cdot L_{pp}^{-1/2} < 1.7$	Buques moderadamente rápidos (mercantes, portacontenedores, etc.)	250-400
$1,9 < V_r \cdot L_{pp}^{-1/2} < 2.2$	Grandes buques rápidos (cruceiros, portaaviones, etc.)	300-400
$2,4 < V_r \cdot L_{pp}^{-1/2} < 3.4$	Buques muy rápidos (buques de guerra, transbordadores, etc.)	500-650
$V_r \cdot L_{pp}^{-1/2} \cong 5.0$	Patrulleras rápidas, guardacostas	800-1.200
$1,8 < V_r \cdot L_{pp}^{-1/2} < 2.7$	Embarcaciones rápidas de pequeña dimensión (remolcadores, pesqueros, etc.)	600-1.200
<b>Notas:</b>		
$V_r$ = Velocidad relativa del buque con respecto al agua, en nudos.		
$L_{pp}$ = Eslora entre perpendiculares, en metros.		

nociese la velocidad uniforme del buque con que navegaría en el régimen de marcha analizado.

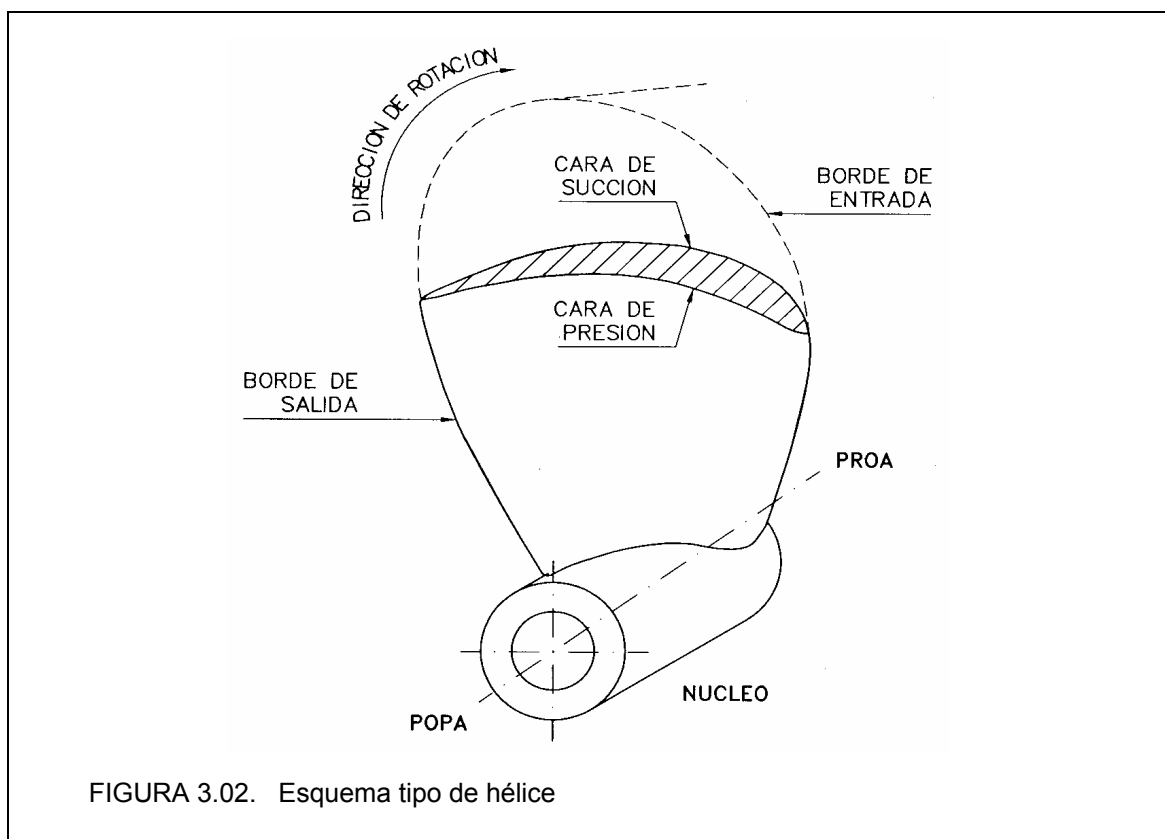
### 3.3.2. ACCION DE LAS HELICES

3.3.2.1. La hélice es el elemento propulsor típico de los buques y el más usado en la época actual (fig. 3.02). La aplicabilidad de la hélice para este fin está basada en el fenómeno físico de la sustentación: el movimiento de una pala de la hélice en un fluido, debido a la acción del propulsor, genera un empuje en la pala cuya componente sobre el eje longitudinal del buque puede utilizarse para producir el movimiento de avance del barco.

Una hélice se caracteriza por su diámetro, su paso, el número de sus palas y el empuje que puede generar cuando gira a cierta velocidad. La mayoría de las hélices tienen 4 o 5 palas, pero las hay también de 2, 3, 6 y 7 palas. Las más usadas en buques mercantes son de 4 o 5 palas. Las de 3 palas se usan actualmente solo en algunos buques de guerra y pesqueros pequeños.

Por lo que se refiere al número de hélices existentes en cada barco, normalmente solo hay una. En el supuesto de que el buque tenga una elevada potencia instalada (buques de alta velocidad) puede ser necesario dividir la planta propulsora en dos o más grupos, lo que lleva a dos o más líneas de ejes. Si hay limitaciones de espacio por la forma del casco en popa o en la cámara de máquinas, se suele dividir también la planta propulsora y se disponen dos o más hélices. En buques de guerra y algunos de pasaje, para aumentar la fiabilidad del sistema de propulsión, se duplican o triplican los propulsores, con la consecuente duplicación o triplicación de hélices. Resumiendo lo anteriormente expuesto puede decirse que en general los buques petroleros, graneleros, mercantes de carga general, portacontenedores medianos y pequeños y pesqueros, suelen tener una hélice, mientras que los buques de guerra, pasaje, ferries, Ro-Ro y portacontenedores grandes suelen tener dos hélices.

Los buques de una sola hélice, están casi siempre provistos de hélices de paso a la derecha, es decir que las palas giran en marcha adelante en el sentido de las agujas del reloj cuando se las mira desde popa. Para dar marcha atrás se invierte el sentido de rotación del eje propulsor.



En la inmensa mayoría de los buques con dos hélices, éstas giran en marcha avante con sus palas altas hacia afuera, es decir, que la de estribor tiene paso a la derecha y la de babor a la izquierda.

El dispositivo de tres hélices, una central y dos laterales, no ha dado buenos resultados en ningún tipo de buque, razón por la cual casi no se usa en la actualidad.

En los casos de buques de cuatro hélices se sitúan dos a cada banda. Por lo general las cuatro hélices son de giro exterior y las dos centrales están situadas más a popa que las otras.

**3.3.2.2.** El objetivo que se persigue al diseñar una hélice es lograr el máximo empuje a lo largo de la dirección del eje para desplazamientos avante del buque a velocidad de servicio, pero en la práctica se obtiene también un rendimiento aceptable a otras velocidades comprendidas dentro de una amplia gama de revoluciones. Asimismo la hélice trabaja bien cuando se da máquinas atrás, pero con rendimientos muy reducidos, dado que las palas están girando en sentido inverso y los perfiles de ala correspondiente trabajan en condiciones diferentes de los que se han utilizado para optimizar su diseño; a ello se añade que la forma de la obra viva del buque es más eficaz para navegación avante que atrás, por lo que se requiere dar más revoluciones en marcha atrás para obtener el mismo efecto que avante.

A pesar de que la hélice se diseña para producir una fuerza que actúe en la dirección de su eje, por varias causas relacionadas con las formas del casco en popa, disposición de hélice y timón y diferencias de flujo que se producen sobre unas y otras palas de la hélice, la fuerza neta resultante ejerce su acción formando un cierto ángulo con crujía. Esta fuerza resultante puede ser descompuesta en dos componentes perpendiculares:

- La fuerza de empuje que actúa hacia proa o hacia popa, en la dirección de eje longitudinal del buque, y que produce el efecto puramente propulsor avante o atrás.
- La componente transversal, que actúa hacia babor o estribor dando lugar a un efecto evolutivo.

Por tanto, debido a la rotación de la hélice, además del efecto principal directo de empuje ejercido a lo largo del eje propulsor, se genera como efecto secundario una fuerza lateral aplicada a la popa del buque que tiende a girarlo a una u otra banda (despreciando otros efectos producidos por el hecho de que estas fuerzas no pasan por el centro de gravedad del buque). Esta fuerza lateral debe ser tenida siempre en cuenta por el maniobrista, y puede ser el factor determinante que implique la posibilidad de realizar o no determinada maniobra a baja velocidad o marcha atrás.

La magnitud de esta fuerza lateral varía con el tipo de buque y las formas de la obra viva y elementos próximos a la hélice, pero su dirección depende únicamente del sentido de giro del eje propulsor. En la mayoría de los casos, al dar máquina avante en un buque de una sola hélice de paso a la derecha, la fuerza lateral tira la popa a estribor y tiende a girar el buque haciendo caer su proa hacia babor, pero esto no siempre ocurre así. A la inversa, cuando se da máquina atrás, la fuerza lateral suele llevar la popa a babor y tiende a rotar el buque haciéndolo caer con su proa a estribor. La tendencia señalada es tanto más notable cuanto mayor es el diámetro de la hélice, y para un mismo buque es mucho más marcada en marcha atrás que avante.

El efecto de esta fuerza lateral en buques de una sola hélice en marcha avante puede corregirse fácilmente por medio del timón, ya que la corriente de expulsión de la hélice se proyecta directamente sobre la pala del mismo y bastan unos pocos grados de timón a la banda que corresponda para compensar esta fuerza; sin embargo este recurso es mucho menos eficaz en marcha atrás no sólo porque la fuerza lateral es mayor, sino también porque el efecto correcto del timón en marcha atrás sólo se hace sentir cuando el buque ha tomado un apreciable arrancada.

Este hecho representa un gran inconveniente en la maniobra de buques de una sola hélice que se manifiesta en las siguientes desventajas :

- Partiendo de reposo no es posible girarlo en poco espacio, excepto en un solo sentido: normalmente cayendo con proa a estribor.
- Existe una dificultad para gobernar en marcha atrás cuando se quiere retroceder en línea recta.

En los buques con dos hélices la acción de la fuerza lateral subsiste para cada una de las hélices tomada individualmente, pero su efecto se ve disminuido considerablemente debido a que las mismas tienen un diámetro comparativamente menor, van más sumergidas en el agua y están bastante separadas del casco. Por otra parte si ambas hélices giran en sentido distinto se equilibran mutuamente, además del efecto evolutivo de compensación que pueda obtenerse haciendo trabajar a cada una de las hélices en un régimen de revoluciones diferente.

### 3.3.3. OTROS TIPOS DE PROPULSORES

#### a) HELICES DE PASO VARIABLE

En los últimos tiempos se ha ido difundiendo cada vez más, y con excelentes resultados, el empleo de hélices cuyas palas pueden ser orientadas a voluntad y que por tal razón se las llama hélices de paso variable o de paso alterable (Fig. 3.03). Estas hélices permiten invertir el empuje que proporcionan al buque sin necesidad de cambiar el sentido de giro del eje propulsor. Las palas están instaladas de modo tal que pueden ser rotadas sobre sí mismas mediante un mecanismo hidráulico especial, girando alrededor de un eje que está montado sobre el núcleo de la hélice. Este tipo de hélice constituye un eficiente medio de propulsión y provee mayor facilidad y rapidez de maniobra al evitar tener que parar los ejes antes de dar atrás. Otra ventaja de estas hélices reside en hacer posible que el buque evolucione a baja velocidad en forma completamente controlada al girar a elevado régimen con paso mínimo, resultado que no se puede conseguir de ninguna otra manera con otros sistemas.

#### b) HELICES EN TOBERA

Este sistema consiste en la instalación de una tobera fija alrededor de la hélice, que aumenta el rendimiento al alinear el flujo que llega y sale de la hélice, a pesar del incremento de resistencia de fricción (ver fig. 3.04). Se trata de un dispositivo de propulsión que requiere un timón detrás para el gobierno del buque.

La función primordial de la tobera fija es aumentar considerablemente el empuje del propulsor en determinadas circunstancias (tiro a punto fijo, arrastre en pesqueros, tiro de remolcadores, etc.).

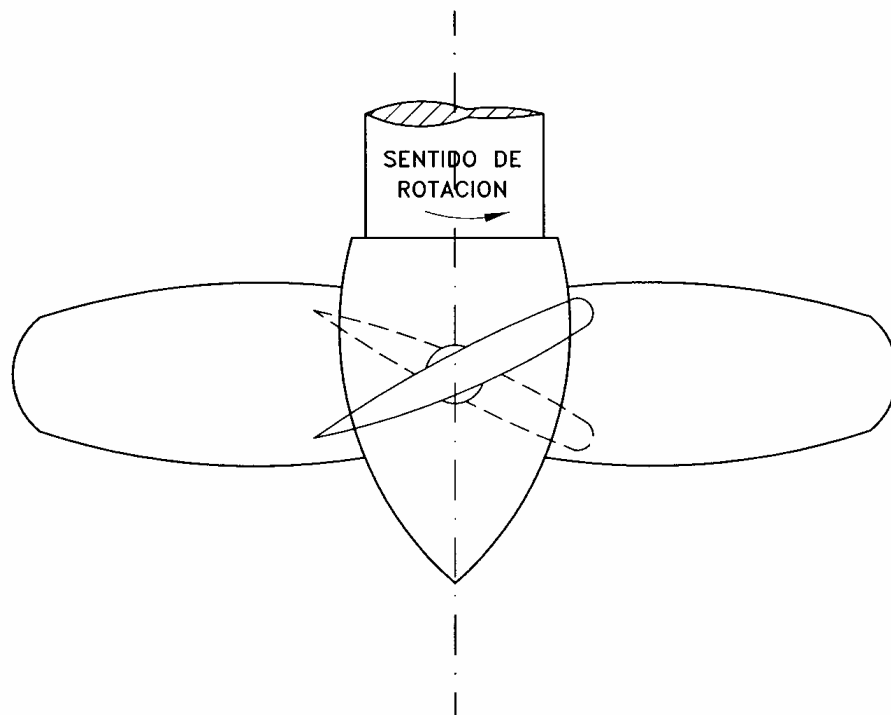
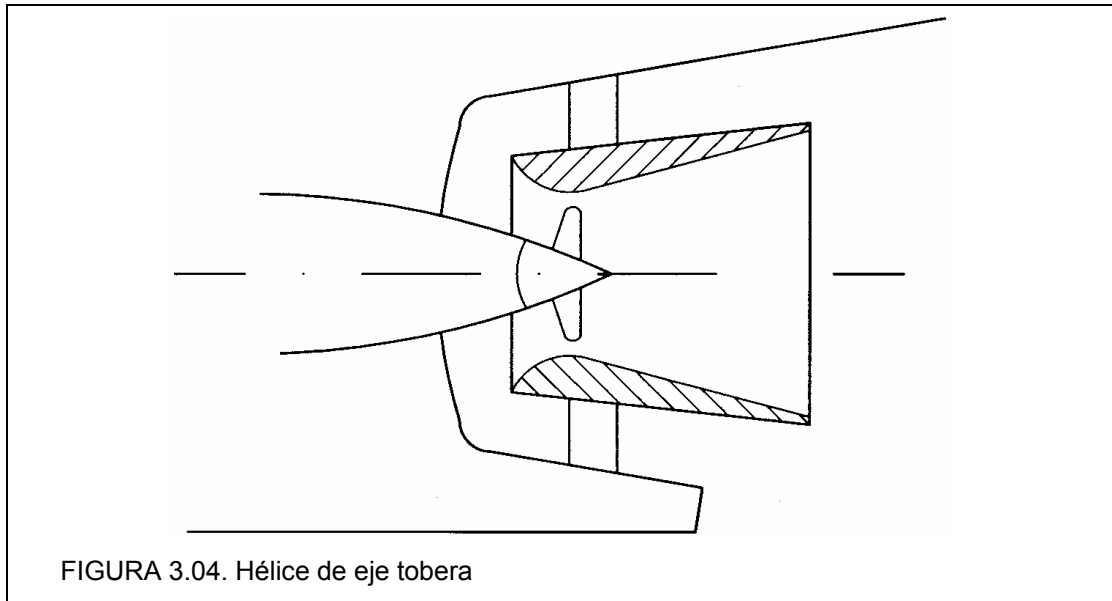


FIGURA 3.03. Hélice de paso variable

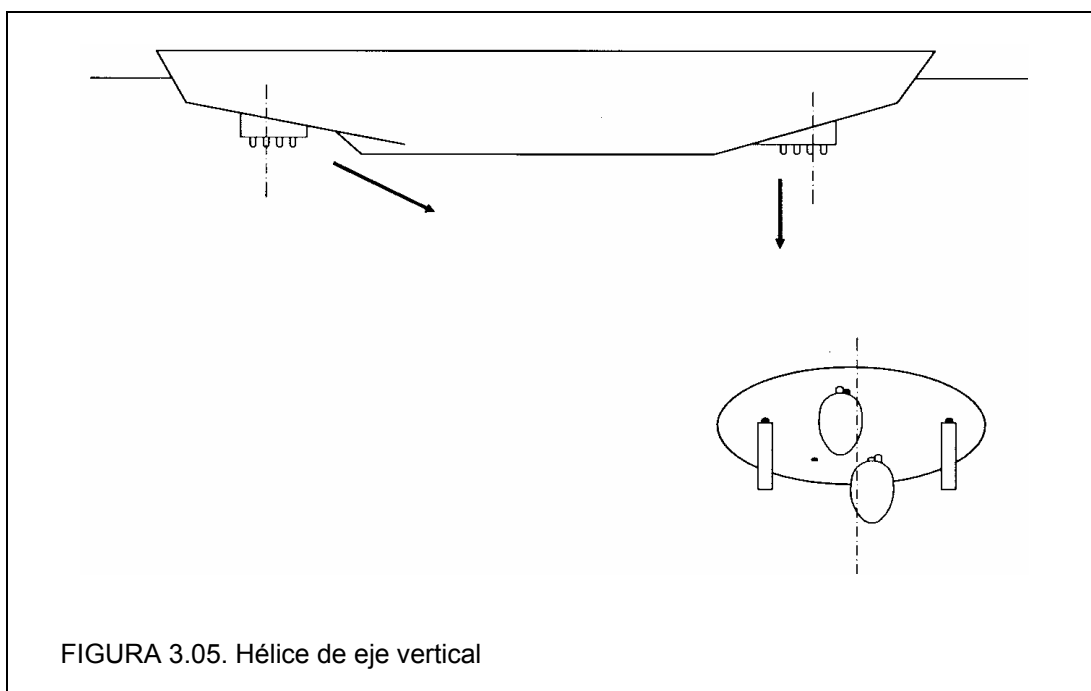


c) **TOBERA ORIENTABLE**

Es un sistema derivado del anterior, al que incorpora la posibilidad de girar la tobera y dirigir el chorro, eliminando la necesidad del timón. Se trata por tanto de un dispositivo de propulsión-gobierno, que contribuye a la maniobrabilidad del buque.

d) **HELICES DE EJE VERTICAL O PROPULSION CICLOIDAL**

Este propulsor se compone de un rotor que va alojado en el casco y tiene movimiento de rotación constante alrededor de un eje vertical. En la periferia de la parte inferior del rotor con forma de disco, están afirmados 2 ó 3 pares de aletas de perfil hidrodinámico, ubicadas en posiciones diametrales opuestas, las cuales participan del movimiento circular del rotor y pueden a su vez girar sobre sus respectivos ejes verticales (fig. 3.05). Al modificarse el paso de las aletas y su excentricidad se consigue que la fuerza de empuje resultante actúe en cualquier dirección que se desee. De esta forma, manteniendo el giro del rotor en el mismo sentido y a velocidad constante, se logra pasar de marcha adelante a atrás o viceversa, y, lo que es más importante, también se puede obtener una especie de marcha lateral que permite desplazar la popa hacia una u otra banda quedando la proa prácticamente inmóvil.





La hélice cicloidal hace posible maniobrar el buque sin necesidad de timón, al reunir en un solo dispositivo orgánico los efectos de propulsión y gobierno. Presenta la gran ventaja de mejorar sensiblemente las cualidades evolutivas del buque, especialmente cuando éste tiene poca o ninguna arrancada. Por tal razón se la emplea particularmente en buques pequeños que operan en aguas limitadas y de tráfico intenso, como son remolcadores, barcos fluviales de recreo, de prácticos o de bomberos.

Los diseños de uso más difundido son los de las marcas Voith-Schneider y Kirsten Boeing.

e) **RUEDAS DE PALETAS**

Este tipo de propulsor, muy utilizado en el pasado, se basa en la acción de dos ruedas, situadas simétricamente una a cada banda, que giran en forma independiente sobre ejes horizontales normales a crujía ubicados por encima de la línea de flotación.

Esta forma de propulsión ha sido abandonada en buques que navegan en mar abierto, por estar sujeta a sufrir averías en caso de mal tiempo. Actualmente sólo la utilizan algunos remolcadores de puerto y buques pequeños afectados al servicio comercial costero o en radas protegidas.

f) **PROPULSORES ESPECIALES**

Adicionalmente a estos sistemas se han desarrollado otros métodos especiales de propulsión para embarcaciones rápidas (hovercraft, jet-foil, hidrofoil, etc.) cuyo análisis excede el alcance de esta ROM.

**3.3.4. NAVEGACION A VELA**

La navegación a vela es la utilización inteligente de la propulsión del viento basada en el fenómeno físico de la sustentación sobre la superficie de la vela, de manera que permita seguir una ruta oblicua seleccionable a voluntad en relación con la dirección del viento. El esquema de funcionamiento de la propulsión a vela se representa de un modo simplificado en la figura 3.06, en donde están representadas:

- $F_a$ , que es la fuerza aerodinámica horizontal resultante de la acción del viento sobre las velas, que constituye la fuerza propulsiva y que está aplicada en un punto denominado centro de empuje.

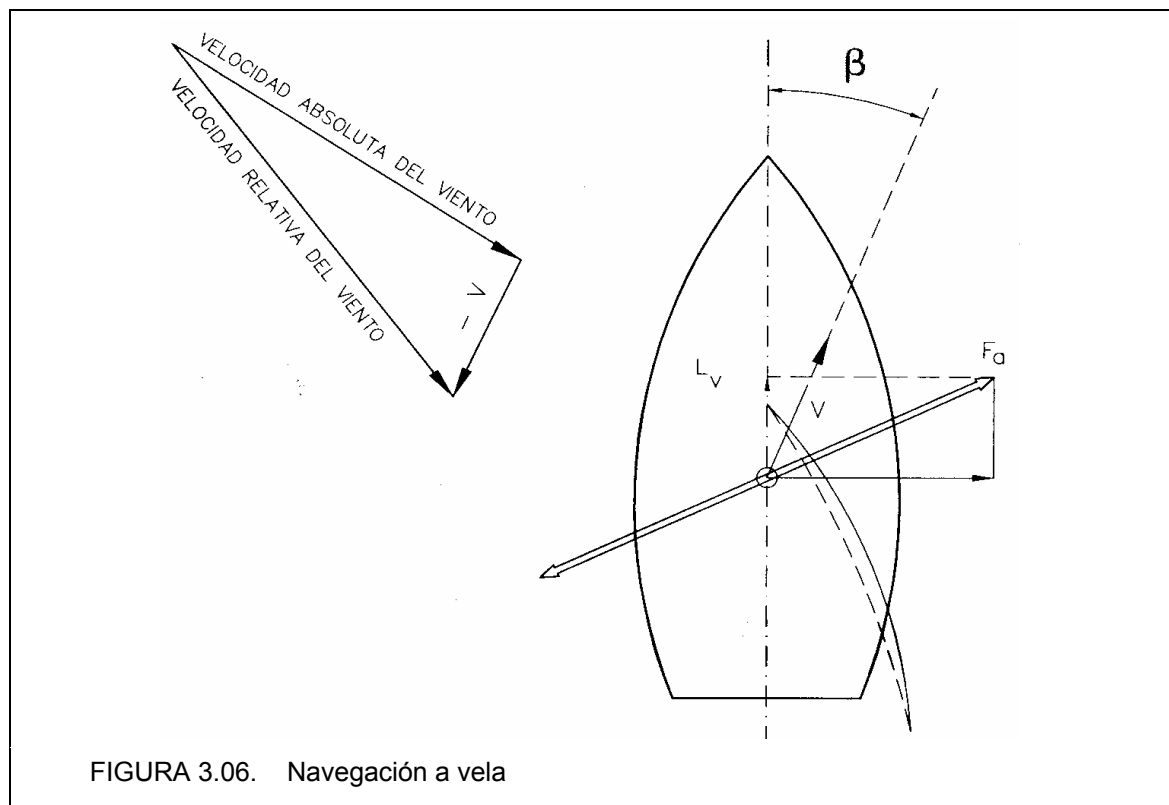


FIGURA 3.06. Navegación a vela

- $F_h$ , que es la fuerza hidrodinámica horizontal resultante de la acción del agua sobre la carena, que constituye la resistencia a la maniobra y que está aplicada en un punto llamado centro de deriva. La posición de este punto de deriva puede ser modificada, dentro de ciertos límites, orientando los elementos de gobierno del buque.

Para que el buque esté equilibrado, la vela debe situarse de manera que en el navío, supuesto horizontal, el centro de empuje esté sensiblemente en la vertical del centro de deriva. Cuando la embarcación se desarrolla a velocidad absoluta constante,  $V$ , en dirección e intensidad,  $F_a$  y  $F_h$  están equilibrados en intensidad y dirección, permitiendo que el barco remonte al viento. Se hace notar que en el caso de existir una corriente de agua la fuerza aerodinámica  $F_a$  estará ocasionada por la velocidad relativa del viento referida al buque ( $V_{vr}$ ) y la fuerza hidrodinámica  $F_h$  por la velocidad relativa de la corriente referida al buque ( $V_{cr}$ ).

La fuerza propulsiva  $F_a$  puede descomponerse en una fuerza  $L_v$  dirigida hacia adelante y una fuerza transversal  $T_v$  y como la carena presentará normalmente una resistencia menor al desplazamiento longitudinal que al transversal, la velocidad resultante del navío tomará un ángulo  $b$  con el plano de simetría longitudinal de la carena, denominado ángulo de deriva, que normalmente será reducido.

Basándose en este sistema podrá seguirse una ruta directa de navegación en cualquier dirección salvo con viento de proa dentro del ángulo límite de ceñida (30-45 grados a cada banda), circunstancias en las que, para arribar al punto deseado, deberá navegarse en ceñida, con bordadas en zig-zag, lo que incrementará el espacio requerido.

### 3.3.5. NAVEGACION A REMOLQUE

La navegación a remolque es el procedimiento de propulsión más simple, utilizado para desplazar embarcaciones en canales y ríos navegables. La tracción se propiciará por un medio externo al buque y se transmite generalmente con oblicuidad en relación con el eje longitudinal del buque, lo que precisa la adopción de medidas correctoras del rumbo para conseguir una navegación equilibrada.

## 3.4. ACCION DEL TIMON

### 3.4.1. FUNCION DEL TIMON

**3.4.1.1.** El timón es el elemento principal de gobierno del buque por medio del cual puede éste conservar su rumbo o alterarlo a voluntad. De una forma esquemática el timón está formado por una plancha denominada pala, giratoria, a voluntad del maniobrista, sobre un eje habitualmente vertical denominado mecha, con lo que se consigue generar fuerzas debidas a la incidencia del flujo de agua sobre él, que se utilizan para dirigir la navegación del barco. Las funciones principales del timón son por tanto dos:

- Producir el momento de gobierno necesario para iniciar la caída del buque a una u otra banda.
- Mantener al buque cayendo en ese sentido, si así se desea, venciendo la resistencia ofrecida por la presión del agua que actúa sobre el casco, que tiende a impedir ese movimiento.

En la práctica el timón permite mantener al buque navegando sobre una derrota rectilínea cuando el viento o el efecto del mar tienden a modificar su rumbo, y a la vez sirve para hacerle evolucionar durante las maniobras en puertos, canales o aguas abiertas.

La eficacia del timón depende de que exista un flujo que incida sobre él formando un cierto ángulo con la orientación de la pala; si la velocidad del flujo incidente es baja o nula el rendimiento del timón es mínimo; si el timón está orientado a la vía sin formar un ángulo con el flujo incidente, las fuerzas generadas en el timón serán exclusivamente en sentido longitudinal al buque, sin capacidad de propiciar acciones de gobierno. La velocidad del flujo incidente viene dada por la velocidad de avance o retroceso del buque, modificada en la zona de emplazamiento del timón por las formas del casco, más la velocidad del flujo inducido por la propia hélice, cuya influencia será diferente según cual sea la posición relativa del timón con respecto a la hélice y según que la hélice gire en sentido de avance o de retroceso.

**3.4.1.2.** Por lo que se refiere a la tipología de timones, hay dos tipos convencionales, el clásico o no compensado y el compensado y varios tipos de timones especiales. El ti-

món no compensado tiene su eje de giro en el extremo de la pala, por lo que requiere un mayor esfuerzo para hacerla girar, mientras que en el timón compensado su eje vertical de giro ha sido trasladado hacia el centro de presión de la pala, de modo tal que del 25% al 30% de su área queda a proa del referido eje. Esta disposición reduce la energía necesaria para girarlo cuando el buque tiene mucha arrancada. El timón compensado es el convencional en todos los buques mercantes hoy en día, mientras que el no compensado es el más habitual en pequeñas embarcaciones deportivas. Los timones especiales (Schilling, Becker o con flap, etc.) mejoran la eficacia del timón a grandes ángulos, aumentando la capacidad de maniobra de los buques que los llevan instalados, que llega a duplicarse con respecto a un buque dotado de un timón convencional.

Los buques de un solo propulsor tiene normalmente un timón único situado directamente a popa de la hélice. Los buques con dos ejes propulsores pueden tener uno o dos timones; cuando están provistos de un solo timón, éste está instalado con su eje vertical en crujía y, en consecuencia, al estar colocado a la vía no recibe el efecto directo de las corrientes de expulsión de las hélices, por ello, la mayoría de los buques modernos de hélices gemelas están equipados con dos timones, los cuales están instalados inmediatamente a popa de cada hélice; de ese modo cada timón recibe directamente la corriente de expulsión de una hélice. La gran ventaja de estos timones gemelos reside en su mayor efectividad a bajas velocidades y para ángulos de pala pequeños.

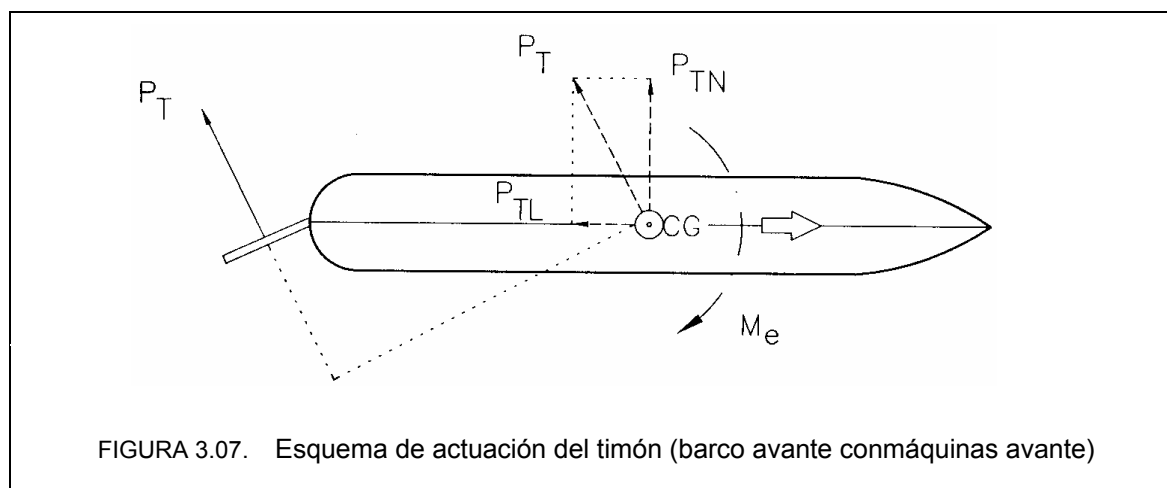
Los buques de tres hélices generalmente tienen un solo timón ubicado a popa de la hélice central, y los buques de hélice cuádruples normalmente tienen dos timones instalados a popa de los ejes propulsores interiores.

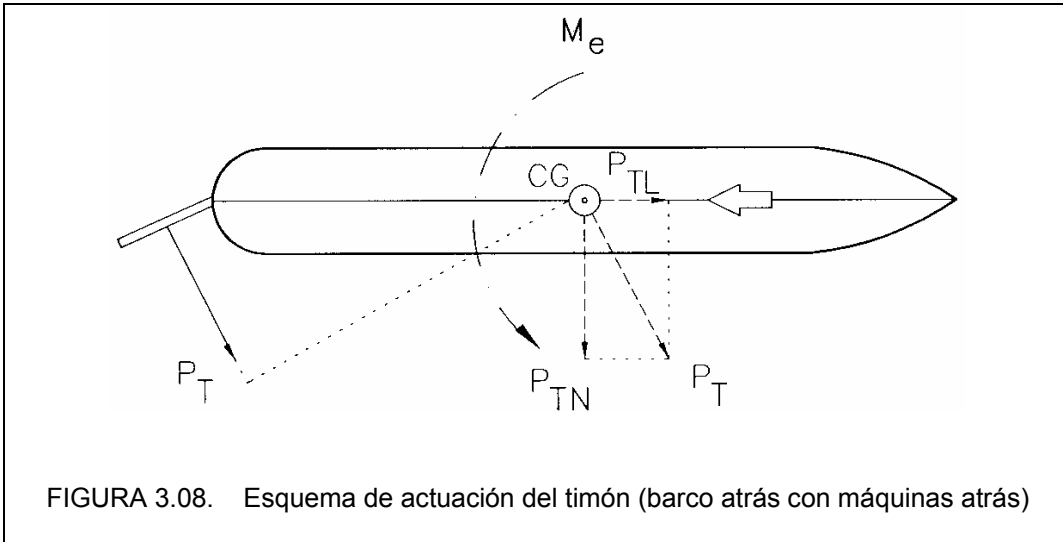
### 3.4.2. FUERZAS GENERADAS EN EL TIMON. MOMENTO EVOLUTIVO

El análisis de las fuerzas generadas en la pala del timón por un flujo de agua incidente sobre él con un ángulo  $\alpha$ , puede dividirse en sus dos componentes: una en la dirección de la pala, debida fundamentalmente a las fuerzas de rozamiento, cuyo valor es despreciable, y otra perpendicular a la pala « $P_T$ », denominada fuerza de presión normal o fuerza del timón, cuyo punto de aplicación se llama centro de presión de la pala. El efecto de esta fuerza « $P_T$ » referido al centro de gravedad del buque puede descomponerse en dos componentes en los sentidos longitudinal y transversal del buque,  $P_{TL}$  y  $P_{TN}$  respectivamente, y un momento  $M_e$  denominado «momento evolutivo» que tiende a hacer girar el buque en el plano horizontal, (despreciando otros momentos secundarios sobre otros ejes).

Si se analizan estos efectos del timón en un buque que navega avante con máquinas avante (ver fig. 3.07), puede apreciarse que la componente longitudinal  $P_{TN}$  hace abatir el buque a la banda opuesta a la que se metió la pala del timón y el momento evolutivo  $M_e$  tiende a girar el buque haciéndole caer con su proa hacia la banda donde se puso el timón. Si este análisis se realiza para un buque que navega atrás con máquinas atrás (ver fig. 3.08) la componente longitudinal  $P_{TL}$  también tiende a frenar al buque, la componente transversal  $P_{TN}$  hace abatir el buque a la misma banda a la que se metió la pala y el momento evolutivo  $M_e$  hace caer la proa a la banda contraria a la que se puso el timón.

Los esfuerzos anteriores pueden calcularse de un modo aproximado para timones convencionales partiendo de las fórmulas de Joessel que determinan el valor de la fuerza  $P_T$





perpendicular a la pala del timón, producida por una corriente horizontal y uniforme de velocidad  $V_T$ , inclinada un ángulo  $\alpha_T$  en relación con el plano del timón (ver fig. 3.09).

$$P_T = \frac{K_T \cdot S_T V_T^2 \cdot \text{sen} \alpha_T}{0,2 + 0,3 \cdot \text{sen} \alpha_T}$$

siendo:

$P_T$  = Componente de las cargas resultantes sobre el timón en la dirección perpendicular a la pala (kg)

$K_T$  = Constante de valor 41,35 para las unidades indicadas

$S_T$  = Superficie de la pala del timón ( $m^2$ )

$V_T$  = Velocidad del flujo incidente en el timón (m/sg)

$\alpha_T$  = Ángulo del timón en relación con la dirección de la velocidad de la corriente

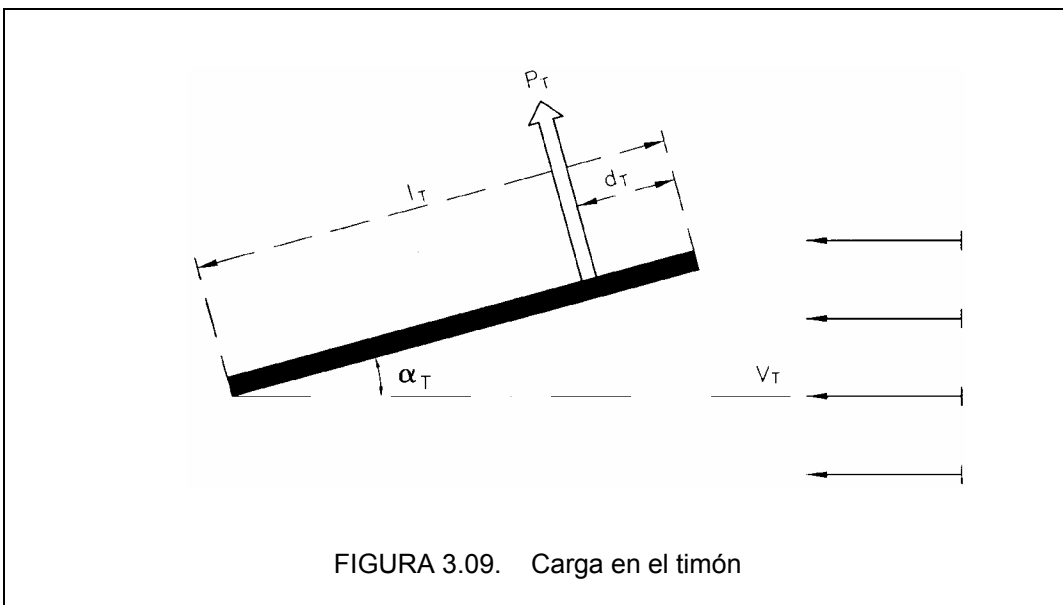
El centro de presiones estará situado a una distancia aproximada:

$$d_T = (0,2 + 0,3 \cdot \text{sen} \alpha_T) \cdot l_T$$

siendo:

$l_T$  = Longitud de la pala del timón

$d_T$  = Distancia del centro de presiones al borde delantero de la pala



Con estas expresiones puede obtenerse simplificadaamente el valor del Momento Evolutivo ( $M_e$ ) mediante la fórmula siguiente:

$$M_e = \frac{41,35 \cdot S_T \cdot V_T^2 \cdot L_{pp} \cdot \text{sen} \alpha_T \cdot \text{cos} \alpha_T}{0,4 + 0,6 \cdot \text{sen} \alpha_T}$$

en donde  $M_e$  es el Momento Evolutivo expresado en Kg · m y  $L_{pp}$  la eslora entre perpendiculares expresada en m.

Para la aplicación de estas fórmulas es necesario conocer las características del buque que se considera y en particular la superficie de la pala del timón « $S_T$ ». En ausencia de este dato puede estimarse mediante la fórmula del Det Norske Veritas siguiente, aplicable a buques dotados de un solo timón convencional situado directamente a popa de la hélice (para otras disposiciones de timones deberá incrementarse esta superficie al menos en un 30%):

$$S_t = \frac{D \cdot L_{pp}}{100} \left[ 1 + 25 \left( \frac{B}{L_{pp}} \right)^2 \right]$$

siendo:

- $S_t$  = Superficie de la pala del timón
- $D$  = Calado del buque a plena carga
- $L_{pp}$  = Eslora entre perpendiculares
- $B$  = Manga del buque

Para timones convencionales el momento evolutivo, teóricamente, es máximo cuando el ángulo del timón es 45°. En la práctica se ha demostrado que se alcanza el máximo efecto con un ángulo menor, de unos 35° aproximadamente, valor hasta el que se consideran aceptables las fórmulas de Joessel. Ello se debe a que con ángulos mayores hay un desprendimiento masivo de la capa límite viscosa en la cara de succión de la pala que hace aumentar la presión en dicha cara y en consecuencia disminuir grandemente la fuerza útil del timón. Para evitar este efecto se han desarrollado precisamente algunos tipos de timones especiales que evitan el desprendimiento de la capa límite, aumentando la eficacia del timón con grandes ángulos (40 ó 45 y aún mayores).

### 3.4.3. EFECTO DE ESCORA DEBIDO AL TIMON

Dado que las fuerzas que intervienen en la evolución del buque no están situadas todas ellas en el mismo plano horizontal se producirán efectos de cabeceo y balance, de los cuales los más importantes son estos últimos. Para el caso de un buque en navegación avante, en el primer momento en que se pone timón a la banda y antes de que el buque comience a caer, es probable que el buque se escora algo hacia ese costado porque el centro de presión de la pala del timón está siempre situado por debajo del centro de gravedad. Normalmente el ángulo de escora inicial es pequeño. A medida que el buque comienza y continua su caída, se va estableciendo una aceleración hacia el centro de curvatura causada por la fuerza centrípeta, que se ejerce en un punto llamado centro de deriva ubicado más abajo que el centro de gravedad en donde esta aplica la fuerza centrífuga que lo equilibra. Como la fuerza centrípeta es muy superior a la del timón, su acción no sólo anula la escora inicial sino que produce una nueva escora hacia el otro costado, es decir hacia la banda opuesta a la de caída, y de mayor amplitud que la anterior.

Para el caso de un buque con navegación atrás estas dos escoras no se compensan, sino que se adicionan, sin embargo su efecto es menos importante dada la menor velocidad a que se navega en estas condiciones.

### 3.5. ACCION COMBINADA DE HELICE Y TIMON

En los apartados anteriores se ha analizado por separado la fuerza de empuje y la fuerza lateral de la hélice, así como también la fuerza del timón, las cuales ejercen su acción en popa y casi en un mismo lugar. A efectos prácticos y para buques con un solo propulsor,

TABLA 3.3. CAIDA DE LA PROA AL MANIOBRAR BUQUES DE UNA HELICE DE PASO A DERECHA					
TIMON	MAQUINA AVANTE		MAQUINA ATRAS		BUQUE CON ARRANCADA ATRAS Y MAQUINA AVANTE
	BUQUE EN REPOSO	BUQUE CON ARRANCADA AVANTE	BUQUE EN REPOSO	BUQUE CON ARRANCADA ATRAS	
A la Vía	Primero cae ligeramente a Babor; al tomar arrancada desaparece ese efecto.	Mantiene el rumbo o cae muy poco a Babor.	Cae a Estribor, francamente.	Cae a Estribor, lentamente.	Indeterminada; no se puede prever si cae a Babor o a Estribor.
A babor	Cae a Babor, francamente.	Cae a Babor, rápidamente.	Cae a Estribor, rápidamente.	Cae a Estribor, rápidamente.	Cae a Babor, lentamente.
A estribor	Cae a Estribor, lentamente.	Cae a Estribor, rápidamente.	Cae a Estribor, muy lentamente.	Primero cae a Estribor, si tiene poca arrancada, después a la vía, y al adquirir velocidad puede caer algo a Babor.	Cae a Estribor, lentamente.
Efectividad del timón	Grande.	Muy grande.	Muy poca.	Poca. Mejora con hélice parada.	Grande.
<b>Observaciones:</b> (1) Tiene mucha importancia el instante en que se pone el timón a la banda. En la tabla se incluye el comportamiento típico del buque cuando se mete la pala en el mismo momento de invertir la hélice.					

ambas pueden componerse en una única fuerza resultante aplicada a la hélice, lo que permitirá predecir su efecto sobre el comportamiento del buque, teniendo en cuenta que el barco se maniobra controlando esta fuerza resultante aplicada en la popa. Cuando el maniobrista mueve la máquina y/o el timón, no hace sino modificar la dirección, el sentido o la magnitud de esa fuerza que actúa en la popa del buque, y su habilidad reside precisamente en saber elegir, en cada caso, la combinación más apta para lograr el efecto evolutivo deseado.

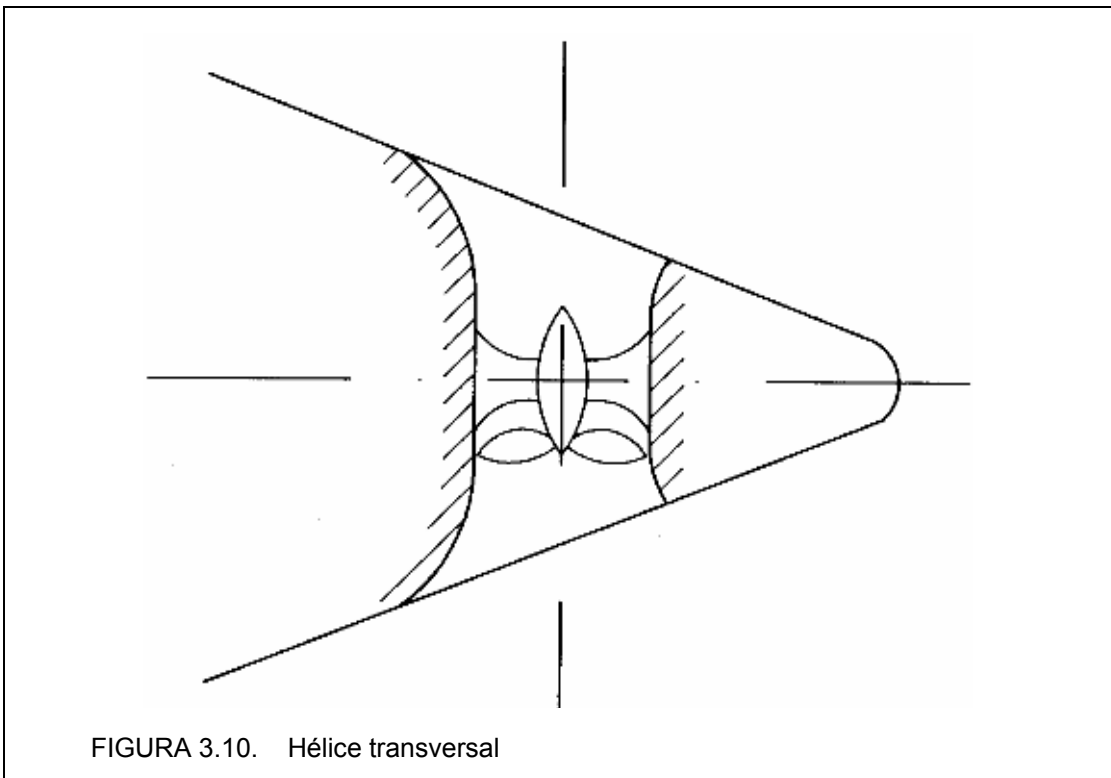
En el caso de los buques dotados de 2 o más hélices y de varios timones el estudio puede realizarse de un modo similar, teniendo en cuenta que la posibilidad de intervenir con fuerzas diferentes aplicadas en puntos distintos proporciona una mayor capacidad de evolución del buque, especialmente cuando uno de los propulsores da avante y otro atrás.

El análisis de todos los supuestos que puedan presentarse excede del alcance de esta ROM. A título de ejemplo se recoge en la Tabla 3.3 el resumen del comportamiento de un buque normal de simple hélice de paso a la derecha, dotado de un solo timón y en condiciones sin viento y con mar en calma. La incidencia en este comportamiento de condiciones climáticas adversas se efectuará con los criterios que se recogen en el Capítulo IV. De un modo similar al presente podrían elaborarse tablas análogas adecuadas a las características específicas de otro tipo de buques.

### 3.6. ACCION DE LAS HELICES TRANSVERSALES

Algunos buques están provistos con hélices en proa y también en algunos casos en popa, cuyo eje es normal a crujía. Van instaladas en túneles transversales, y esto les permite empujar la proa o la popa hacia una u otra banda. (Ver fig. 3.10).

El objetivo principal de las hélices transversales es permitir a los buques maniobrar cuando están parados o navegan a baja velocidad (circunstancia en la que la eficacia del timón convencional es muy pequeña), permitiendo reducir la asistencia de remolcadores. Cuando la velocidad del buque aumenta, la fuerza lateral debida a las hélices transversales, y por tanto el par de giro generado, se reducen ya que el flujo no se desvía para entrar al túnel de la hélice, llegando a ser insignificantes cuando la velocidad del barco supera los 3 nudos, con rendimiento decreciente desde 1,5 nudos.



Para evaluar el efecto de las hélices transversales a buque parado puede partirse de los criterios siguientes, que son los que se utilizan habitualmente para su diseño:

	Empuje de la hélice (Kg/m <sup>2</sup> )	
	Por área lateral de obra viva	+ Por área lateral de obra muerta
Petroleros, Graneleros	4-8	4-8
Carga general	6-8	4-8
Ferries. Pasaje	12-16	4-8
Pesqueros	16-18	4-8
Dragas	10-12	4-8

### 3.7. ACCION DE LAS AMARRAS

Las amarras son elementos de maniobra que, por lo que se refiere al objeto de esta ROM, se emplean para facilitar el atraque o desatraque de los buques a muelles, boyas, o al costado de otros buques. También se las utiliza para mantenerlos sujetos en una posición estable y segura durante las permanencias en puerto, así como para algunas maniobras de desplazamiento del buque a lo largo del muelle (enmiendas sobre cabos o espiadas).

Las amarras reciben nombres diferentes según la dirección en que trabajan al salir del buque por las guías, gateras, o portaespías y según la ubicación de estos últimos elementos.

Las amarras que saliendo de proa trabajan hacia adelante, o que haciéndolo desde popa trabajan hacia atrás se llaman largos. Las amarras que saliendo por un extremo del buque trabajan oblicuamente en dirección al otro extremo, o las que se disponen longitudinalmente al costado del buque se llaman espringes (del inglés «spring») o retenidas. Los cabos o cables que trabajan en dirección aproximadamente normal al plano de crujía se llaman traveses.

El uso adecuado de las amarras contribuye en gran medida a la rapidez y seguridad de las maniobras en puerto, y por ello es importante conocer el efecto que se produce sobre el buque al cobrar de una amarra o al hacerla trabajar con la arrancada que lleva o se le imparte al barco.

El efecto de una amarra cualquiera puede verse esquematizado en la figura 3.11 donde el vector  $T_M$  representa la componente horizontal de tensión aplicada en el portaespía, cuando desde a bordo se cobre de un cabo encapillado en un bolardo de un muelle. Este vector  $T_M$  trasladado al centro de gravedad CG produce los siguientes efectos principales (despreciando momentos sobre los ejes horizontales):

- La componente longitudinal  $T_{ML}$  tiende a hacer avanzar al buque.
- La componente transversal  $T_{MT}$  tiende a desplazar lateralmente el buque acercándolo al muelle.
- El momento sobre el eje vertical debido a la excentricidad de la fuerza, trata de hacer evolucionar al buque girándolo en el sentido de caer con su proa hacia tierra.

Generalizando este efecto se puede decir que por acción de una amarra se pueden obtener tres efectos: uno de evolución, otro de propulsión o frenado y un tercero de deriva o abatimiento, los cuales varían según el lugar del buque donde se aplique el esfuerzo y la dirección en que trabaje la amarra.

El momento será tanto mayor cuanto más cerca de uno de los extremos del buque esté situado el portaespía y cuanto más normal a la crujía esté orientada la amarra.

El efecto de propulsión debido a la componente longitudinal será tanto mayor cuanto más próxima a la dirección de crujía trabaje la amarra; en el caso de que esta última sea puesta en tensión debido a la arrancada del buque, el efecto que se produce es de frenado y no de propulsión.



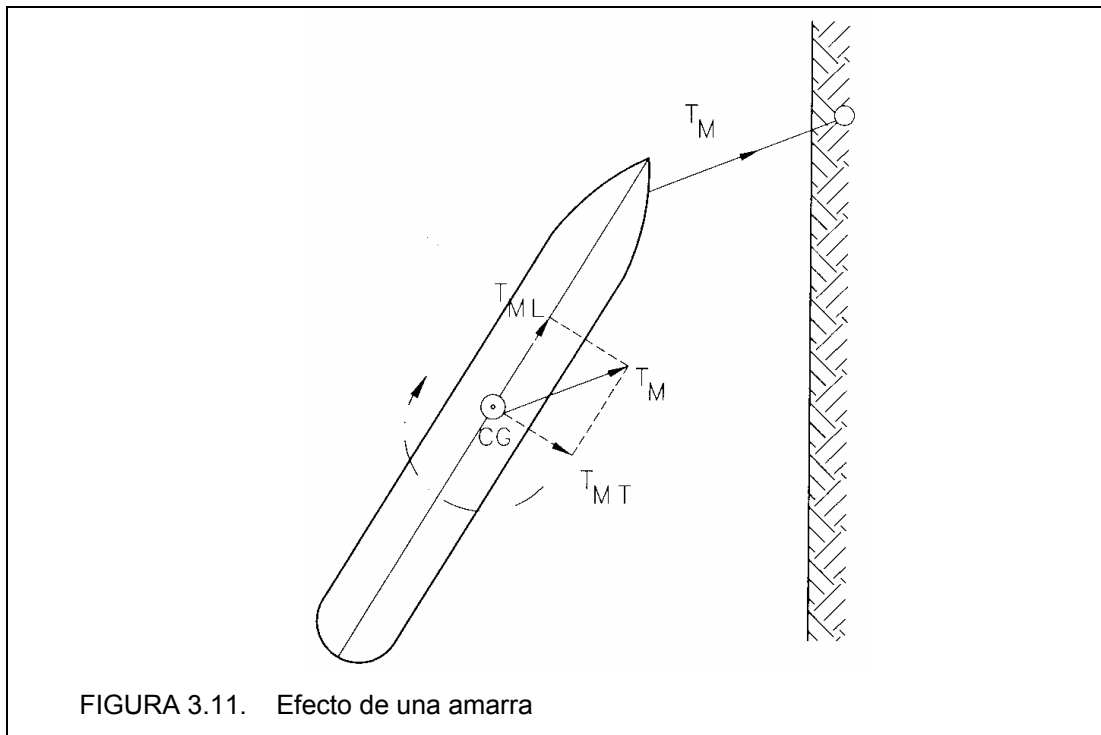


FIGURA 3.11. Efecto de una amarra

El efecto de abatimiento o de traslación lateral hacia el muelle será mayor cuanto más se acerque a  $90^\circ$  el ángulo que la amarra forma con el eje longitudinal del buque.

### 3.8. ACCION DEL ANCLA Y LA CADENA

En aguas relativamente poco profundas un buque puede ser hecho firme al fondo por medio de un ancla y su correspondiente cadena, con la finalidad principal de mantenerlo seguro en cierto lugar o fondeadero evitando que sea arrastrado por la acción del viento, mar o corrientes. Por otra parte el ancla es el único elemento disponible que permite fijar o controlar el movimiento de la proa del buque cuando no se tiene ninguna amarra pasada por ese extremo pudiendo utilizarse para maniobras de atraque y desatraque de buques. Además, el ancla en combinación con el efecto del viento y/o la corriente, o de ambos, puede resolver problemas de maniobra que no tendrían solución si sólo se dispusiese de las máquinas, el timón y las amarras. Finalmente el ancla es un recurso utilizable en caso de emergencias.

Casi todos los buques modernos están equipados con anclas sin cepo, llamadas también tipo «patente» o de tragadero, las cuales han reemplazado a las antiguas por sus ventajas en cuanto a facilidad de estiba y manejo, ahorro de peso y eficiencia. Las modernas tienen brazos articulados que pueden girar de  $30$  a  $35^\circ$  y que están diseñados para que muerdan el fondo con sus uñas y se entierren profundamente en él. En la figura 3.12 se muestra la secuencia de cómo trabaja un ancla sin cepo. Al iniciar la maniobra el ancla desciende casi verticalmente (1) y una vez que choca con el fondo se inclina en la dirección en que trabaja la cadena (2), hasta quedar acostada en el fondo (3). Debido a la tracción ejercida por la cadena, el ancla empieza a rastrear por el fondo y por acción de los talones clava sus uñas en el mismo (4). El ancla al seguir arrastrándose se va hundiendo más hasta quedar totalmente enterrada (5). De lo expuesto se comprende que para que inicialmente el ancla agarre bien en el fondo, es fundamental que la cadena ejerza su fuerza de tracción lo más horizontal posible y para ello es necesario que se la file en cantidad suficiente como para que su último tramo permanezca trabajando prácticamente apoyado en el fondo.

La magnitud del poder de agarre de un ancla normalmente se expresa como un múltiplo de su propio peso y depende del tipo y peso de la misma, de la dirección en que se ejerce la tracción de la cadena en el plano vertical y de la clase o naturaleza del fondo. A título indicativo puede cifrarse el poder de agarre de los diferentes modelos de anclas varía entre 3 y 10 veces su peso, en condiciones de tracción paralela al fondo y en un buen

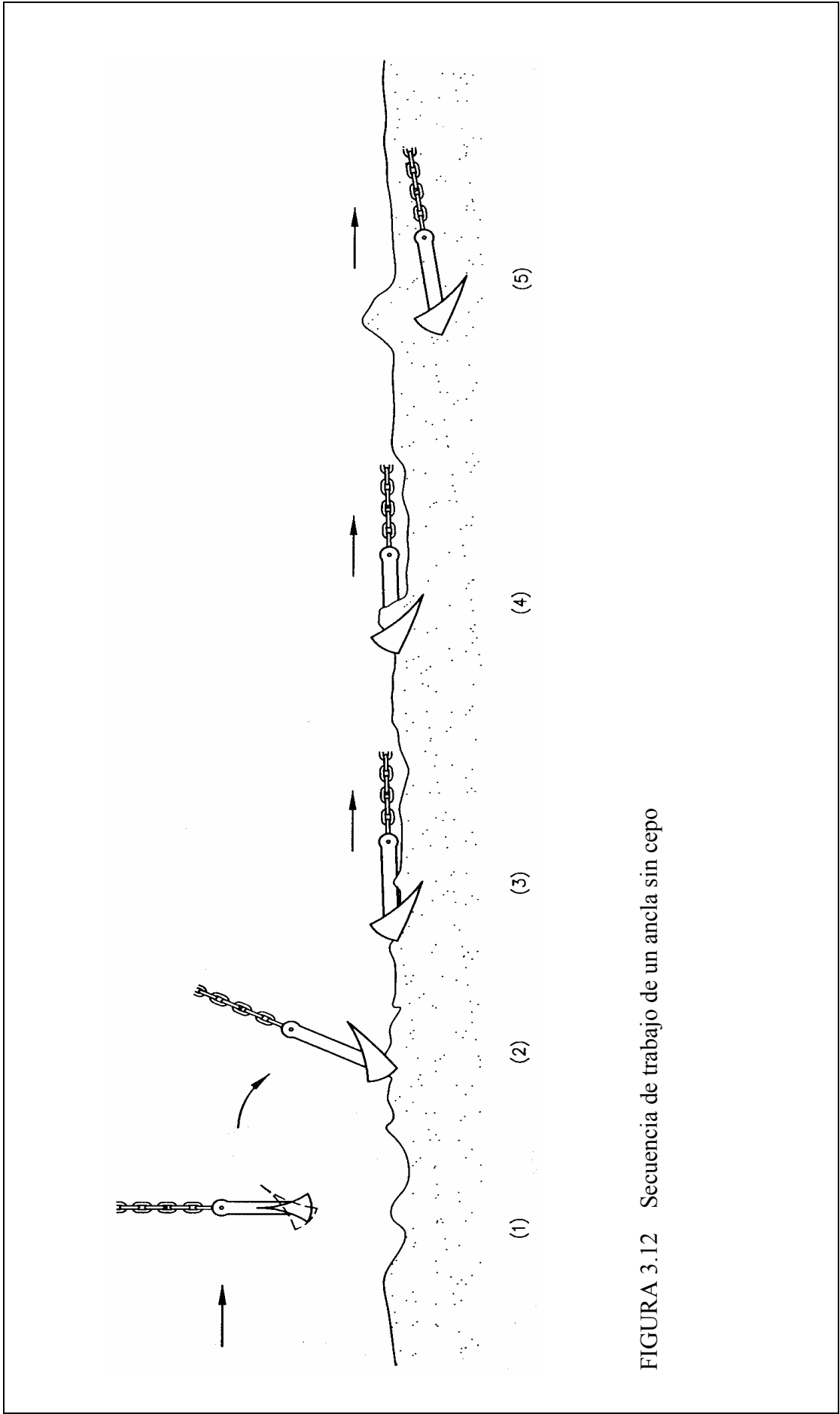


FIGURA 3.12 Secuencia de trabajo de un ancla sin cepo

tenedero. Sin embargo, el hecho de que un ancla haga buena presa o cabeza depende menos de su peso que la manera cómo fue fondeada y sólo así puede comprenderse que un ancla de relativamente poco peso aguante a buques cuyo desplazamiento es miles de veces mayor.

En lo que respecta a la cadena, este elemento no sólo sirve como elemento de unión o vínculo entre el buque y el ancla, sino que por su peso actúa como amortiguador o resorte mejorando las posibilidades de aguantar un buque en su fondeadero. La cadena que yace en el fondo provee un poder de agarre adicional que se añade a la capacidad de captura del ancla. La cadena se dispone formando una catenaria entre el escobén y el ancla, y cuanto mayor sea la intensidad del viento, del oleaje o de la corriente que actúa sobre el buque, mayor será la distancia entre los puntos terminales de la cadena, disminuyendo la porción de ella apoyada en el fondo, con lo que se acrecienta la posibilidad de garrear.

El efecto que produce la cadena es el que corresponde a la dirección en que trabaja y al lugar donde se aplica la fuerza, es decir el escobén del buque. Recordando lo analizado en el párrafo anterior sobre amarras, se puede decir que la cadena actuará como largo, través o esprín de proa según los casos, y con este enfoque se puede considerar la cadena como una amarra extremadamente resistente pasada por un punto de amarre portátil que es el ancla.

### 3.9 OTRAS CARACTERÍSTICAS DE MASA E INERCIA DEL BUQUE QUE INCIDEN EN SU MOVIMIENTO

Para el análisis correcto de todos los factores descritos en los apartados anteriores, será necesario considerar las siguientes características de masa e inercia del buque:

- Masa del buque, igual a su desplazamiento dividido por «g», aceleración de la gravedad.
- Masa de agua añadida, que corresponde a la masa de agua que se moviliza con el buque en su movimiento. Su valor depende de las formas del casco, la velocidad del movimiento y, fundamentalmente, de la profundidad de agua existente.

Para movimientos longitudinales en áreas de profundidad reducida o limitada puede suponerse que varía entre 0, para movimientos a pequeña velocidad y el 10% de la masa del buque para velocidades próximas a las de servicio. Para movimientos transversales de pequeña velocidad en área de profundidad reducida o limitada, la masa de agua añadida puede evaluarse en un porcentaje de la masa del buque, determinado por la expresión:

$$\% = 100 \frac{2D}{B}$$

siendo:

$D$  = Calado del buque

$B$  = Manga del buque

- Momentos de inercia del buque. De los tres giros elementales posibles (guiñada, balance y cabeceo), el que tiene una incidencia más importante en la determinación de las dimensiones de las áreas de flotación es el giro del buque referido a un eje vertical que pasa por el centro de gravedad (guiñada), para el que puede determinarse el momento de inercia conociendo su radio de giro « $K_z$ » que puede aproximarse por la fórmula siguiente:

$$K_z = (0,19 C_b + 0,11) \cdot L_{pp}$$

siendo:

$K_z$  = Radio de giro del buque con respecto a un eje vertical que pasa por el centro de gravedad, en m

$C_b$  = Coeficiente de bloque del buque

$L_{pp}$  = Eslora entre perpendiculares del buque, en m.

- Momento de inercia del buque por agua añadida. La masa de agua que se moviliza con el buque en su movimiento afecta al valor de los momentos de inercia; en particular para el giro de guiñada del buque, el radio de giro añadido puede oscilar entre el 20% y el 25% de la eslora entre perpendiculares ( $L_{PP}$ ), alcanzando los valores más bajos cuando el coeficiente de bloque del barco sea más elevado.

La valoración de las características inerciales del buque puede efectuarse también por sus consecuencias. En particular se suelen considerar los factores siguientes:

- Inercia del timón: es la distancia recorrida por el buque entre el instante en que se da la orden de ponerlo a la banda con determinado ángulo y el momento en que aquél ha girado  $10^\circ$  en ese sentido.
- Inercia giratoria: es el número de grados que el buque continua cayendo a la banda a partir del momento en que se puso timón a la vía.

**PARTE 4**

**ACCIONES EXTERNAS  
SOBRE EL BUQUE**

---



## PARTE 4

## ACCIONES EXTERNAS SOBRE EL BUQUE

	Indice
<b>4.1. ACCION Y EFECTOS DEL VIENTO</b> .....	113
4.1.1. CONCEPTOS GENERALES .....	113
4.1.2. POSICION DE EQUILIBRIO CON BUQUE PARADO .....	114
4.1.3. POSICION DE EQUILIBRIO CON BUQUE CON MARCHA AVANTE .....	115
4.1.4. POSICION DE EQUILIBRIO CUANDO EL BUQUE LLEVA ARRAN- CADA ATRAS .....	116
<b>4.2. ACCION Y EFECTOS DE LA CORRIENTE</b> .....	117
4.2.1. CONCEPTOS GENERALES .....	117
4.2.2. NAVEGACION EN UNA CORRIENTE GENERAL UNIFORME TRANS- VERSAL AL BUQUE .....	118
4.2.3. NAVEGACION EN UNA CORRIENTE GENERAL UNIFORME LON- GITUDINAL AL BUQUE .....	118
4.2.4. NAVEGACION EN CORRIENTES NO UNIFORMES .....	118
<b>4.3. ACCION Y EFECTO DEL OLEAJE</b> .....	119
<b>4.4. EFECTOS DE LOS TEMPORALES</b> .....	123
<b>4.5. EFECTO DE LAS BAJAS PROFUNDIDADES</b> .....	123
<b>4.6. EFECTO DE SUCCION Y RECHAZO DE LAS ORILLAS</b> .....	124
<b>4.7. EFECTO DE CRUCE DE BUQUES</b> .....	124
<b>4.8. EVALUACION DE LAS ACCIONES EXTERNAS SOBRE EL BUQUE</b> .....	124
4.8.1. VIENTO .....	124
4.8.2. CORRIENTES .....	125
4.8.3. OLEAJE .....	126
4.8.4. EFECTO DE LAS BAJAS PROFUNDIDADES .....	131
4.8.5. EFECTO DE SUCCION Y RECHAZO DE LAS ORILLAS .....	131
4.8.6. CRUCE CON OTROS BUQUES .....	136





<b>4.01.</b>	Acción del viento sobre un buque .....	114
<b>4.02.</b>	Posición de equilibrio al viento con buque parado, en función del asiento .....	115
<b>4.03.</b>	Posición de equilibrio al viento con buque parado, en función de la superestructura .....	116
<b>4.04.</b>	Acción de la corriente sobre un buque .....	117
<b>4.05.</b>	Acción del oleaje sobre un buque .....	120
<b>4.06.</b>	Efectos del oleaje de través sobre los buques .....	121
<b>4.07.</b>	Cruces de buques .....	125
<b>4.08.</b>	Efectos del paso de un buque sobre otro amarrado .....	126
<b>4.09.</b>	Determinación del viento aparente relativo al buque .....	132
<b>4.10.</b>	Determinación de la corriente aparente relativa al buque .....	137
<b>4.11.</b>	Determinación del oleaje aparente relativo al buque .....	140



---

4.1.	Esfuerzos resultantes de las presiones del viento sobre los buques .....	127
4.2.	Esfuerzos resultantes de las presiones de la corriente sobre los buques .....	133
4.3.	Esfuerzos resultantes de las fuerzas de fricción de la corriente sobre los buques .....	135
4.4.	Esfuerzos resultantes de las fuerzas debidas al oleaje sobre los buques .....	138



## PARTE 4

### 4.1. ACCION Y EFECTOS DEL VIENTO

#### 4.1.1. CONCEPTOS GENERALES

En todas las maniobras el viento es uno de los principales factores a considerar, ya que con mayor o menor intensidad sopla prácticamente siempre. Si el viento es fuerte, influye marcadamente en la acción del timón y de las hélices en marcha avante y modifica las leyes de las evoluciones con el buque en marcha atrás.

La acción del viento uniforme se esquematiza en la fig. 4.01 en la que se ha representado en planta la fuerza resultante horizontal  $R_V$  sobre la obra muerta del buque, cuya línea de acción normalmente no pasará por el centro de gravedad del barco, por lo que el sistema de fuerzas referido a este punto puede descomponerse en los siguientes efectos parciales:

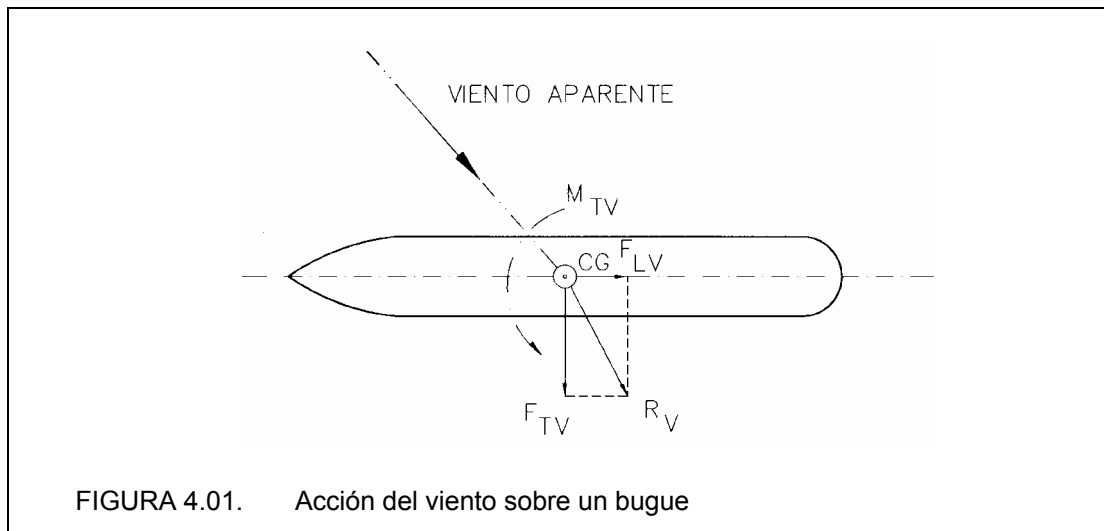
- Una componente  $F_{LV}$  en el sentido longitudinal que tiende a hacer avanzar o retroceder al buque, según cual sea el ángulo de incidencia del viento.
- Una componente  $F_{TV}$  en el sentido transversal del buque que tiende a desplazarle con un movimiento de deriva.
- Un Momento Resultante  $M_{TV}$  que trata de hacer evolucionar al buque girándolo en el sentido correspondiente sobre un eje vertical.

Adicionalmente a estos tres esfuerzos principales podría considerarse la componente en el sentido vertical del buque que produciría movimientos de alteada y los dos momentos sobre los ejes longitudinal y transversal que producirían movimientos de cabeceo y balance (ver fig. 7.04), algunos de los cuales podrá ser necesarios tomar en consideración para determinar los sobrecargos del buque debidos a la actuación del viento.

El efecto de la acción del viento tenderá a llevar al buque en conjunto a sotavento, con una forma de abatimiento que dependerá de la fuerza resultante  $R_V$  y del sistema de fuerzas que equilibren a ésta. En el caso de un buque amarrado la acción del viento será resistida por amarras y defensas, que se dimensionarán según los criterios de la ROM 02 «Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias». En el caso de un buque parado sin amarrar, a la acción del viento sobre la obra muerta del buque tratando de hacerlo abatir, se opone la resistencia del agua que actúa sobre la carena (ver apartado 4.2), hasta alcanzar una posición de equilibrio que corresponda a la resultante de ambos efectos parciales. En el caso más general se llama posición de equilibrio a aquella en que las acciones de las hélices, del timón, del viento, del mar y de cualesquiera otras acciones exteriores se compensan de modo tal que el buque adquiere un movimiento en línea recta. En todos estos casos en los que el buque está en movimiento habrá que tomar en consideración que el viento realmente actuante sobre el buque es el viento aparente o relativo, cuya dirección e intensidad son las resultantes del viento absoluto real y de una velocidad igual y contraria a la absoluta del buque.

Cuando no existe viento, ni oleaje, ni otras acciones exteriores, la posición de equilibrio con un buque en marcha avante se alcanzará manteniendo el timón prácticamente a la vía. Si hay viento y/o mar el buque tenderá a caer hacia una u otra banda y para conseguir navegar a un rumbo estable se deberá aplicar unos grados de timón a la banda opuesta a efectos de contrarrestar esa tendencia. El ángulo de deflexión de la pala será tanto mayor cuanto más intensa sea la acción de las fuerzas exteriores actuantes, y el timón se tendrá que dejar constantemente aplicado a la banda para mantener el buque en equilibrio sobre la derrota prevista.

La manera cómo reacciona un buque a la fuerza del viento depende fundamentalmente de la dirección e intensidad del viento aparente, de la forma y distribución de la superes-



estructura de su obra muerta, de la forma de la carena, de la diferencia de calados entre proa y popa y de la dirección y velocidad del movimiento del buque a través del agua. A continuación se analizan las posiciones de equilibrio para buque al gárete, con arrancada avante y con arrancada atrás.

#### 4.1.2. POSICION DE EQUILIBRIO CON BUQUE PARADO

La forma en que el buque se presentará al viento depende principalmente de la distribución de la superestructura, de la forma de la carena y de la diferencia entre los calados a proa y a popa.

Si tiene, mayor calado en popa, su proa abatirá relativamente más a sotavento que el otro extremo del buque, porque el agua le opondrá menos resistencia, y viceversa. (Ver fig. 4.02 a y b). Si el buque cala igual en proa que en popa, influirá predominantemente la distribución de la obra muerta a lo largo de toda la eslora, abatiendo más la parte que por tener más superficie expuesta al viento genera mayores esfuerzos; la orientación del buque con respecto al viento en la posición de equilibrio dependerá, pues, de la relación entre las áreas expuestas al viento a proa y a popa. Los buques de pasajeros y algunos cargueros y petroleros presentan aproximadamente su través al viento por tener sus superestructuras principalmente en el centro de sus esloras o con cierta simetría, y en consecuencia abaten a sotavento casi de costado. (Ver fig. 4.03.a). Los buques de guerra, remolcadores y algunos mercantes, por tener castillos y superestructuras a proa, se presentan recibiendo el viento algo a popa del través; en consecuencia abaten con una pequeña componente de arrancada avante. (Ver fig. 4.03.b). Algunos buques tanques, graneleros y costeros que tienen sus superestructuras a popa asumen la posición de equilibrio recibiendo el viento algo a proa a través y abaten con una ligera componente de arrancada atrás. (Ver fig. 4.03.c). En buques de alto francobordo y poco calado la acción de la fuerza del viento será grande y la resistencia ofrecida por el agua será reducida; por tanto responderán rápidamente al efecto del viento y abatirán mucho. Por el contrario, si un buque tiene gran calado o está muy cargado y presenta al viento una superficie pequeña y de líneas aerodinámicas, el agua ofrecerá considerable resistencia y el efecto del viento será mínimo.

Cuando un buque se encuentra en su posición de equilibrio en reposo y reciben la acción del viento, requiere un momento evolutivo diferente del normal para iniciar una caída a una u otra banda. Tratándose de buques que por calar más a popa que a proa o tener mayor obra muerta de proa y estar presentados recibiendo el viento algo a popa del través, para virarlos será mucho más fácil y rápido hacerlo girando a sotavento. En contrapartida puede resultar imposible efectuar la caída si se trata de hacerlos girar en sentido contrario, llevando la proa hacia el viento, y sólo se podrá conseguirlo si previamente se gana buena arrancada avante para que la acción del timón sea efectiva. Si la superestructura del buque está distribuida predominantemente a proa, se puede requerir una fuerza lateral realmente muy grande en popa para lograr ese propósito. Si la fuerza lateral de las hélices resulta insuficiente, será necesario ganar considerable arrancada avante hasta que la fuerza evolutiva adicional proveniente de la acción del timón permita vencer el efecto del viento.

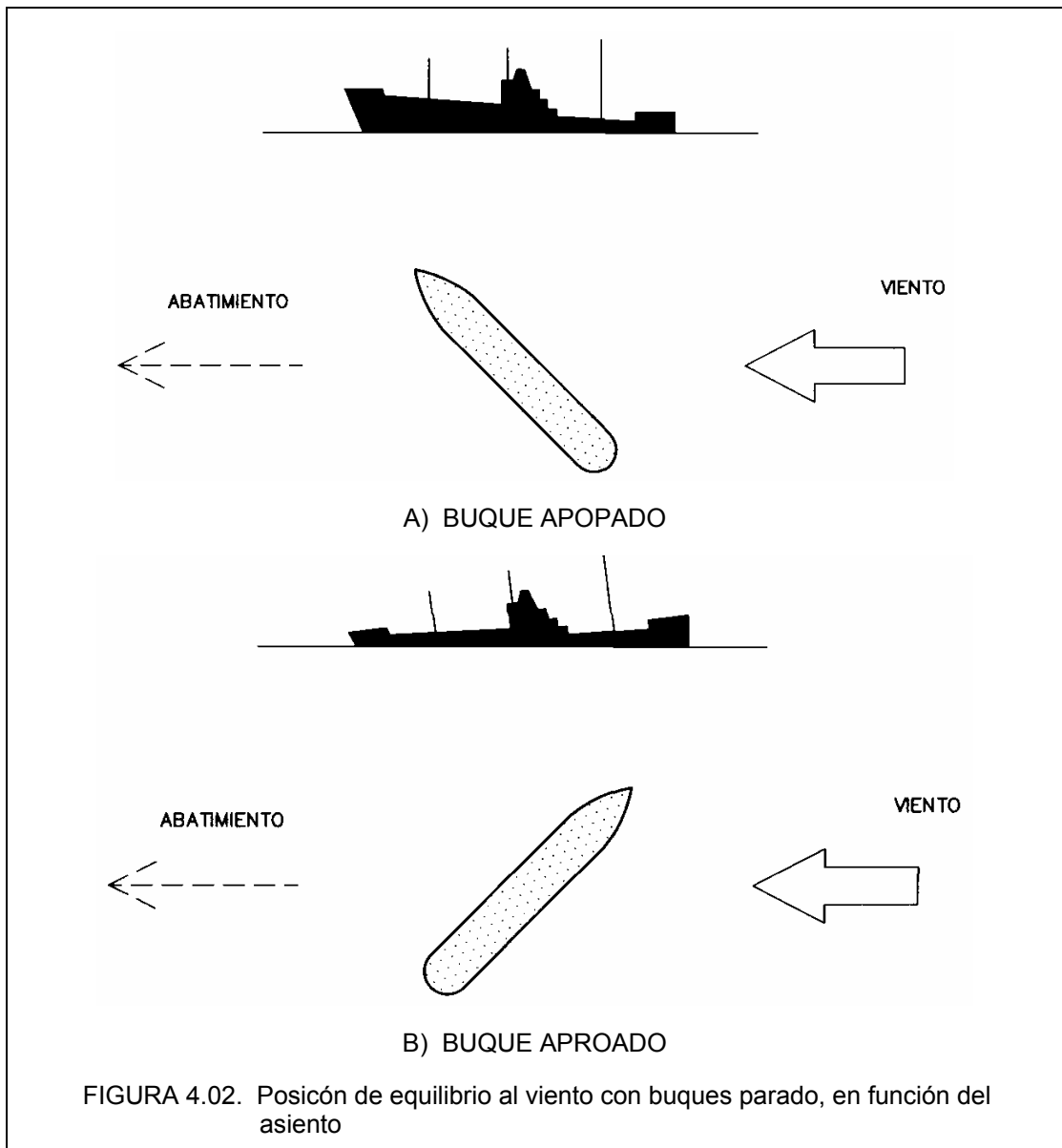
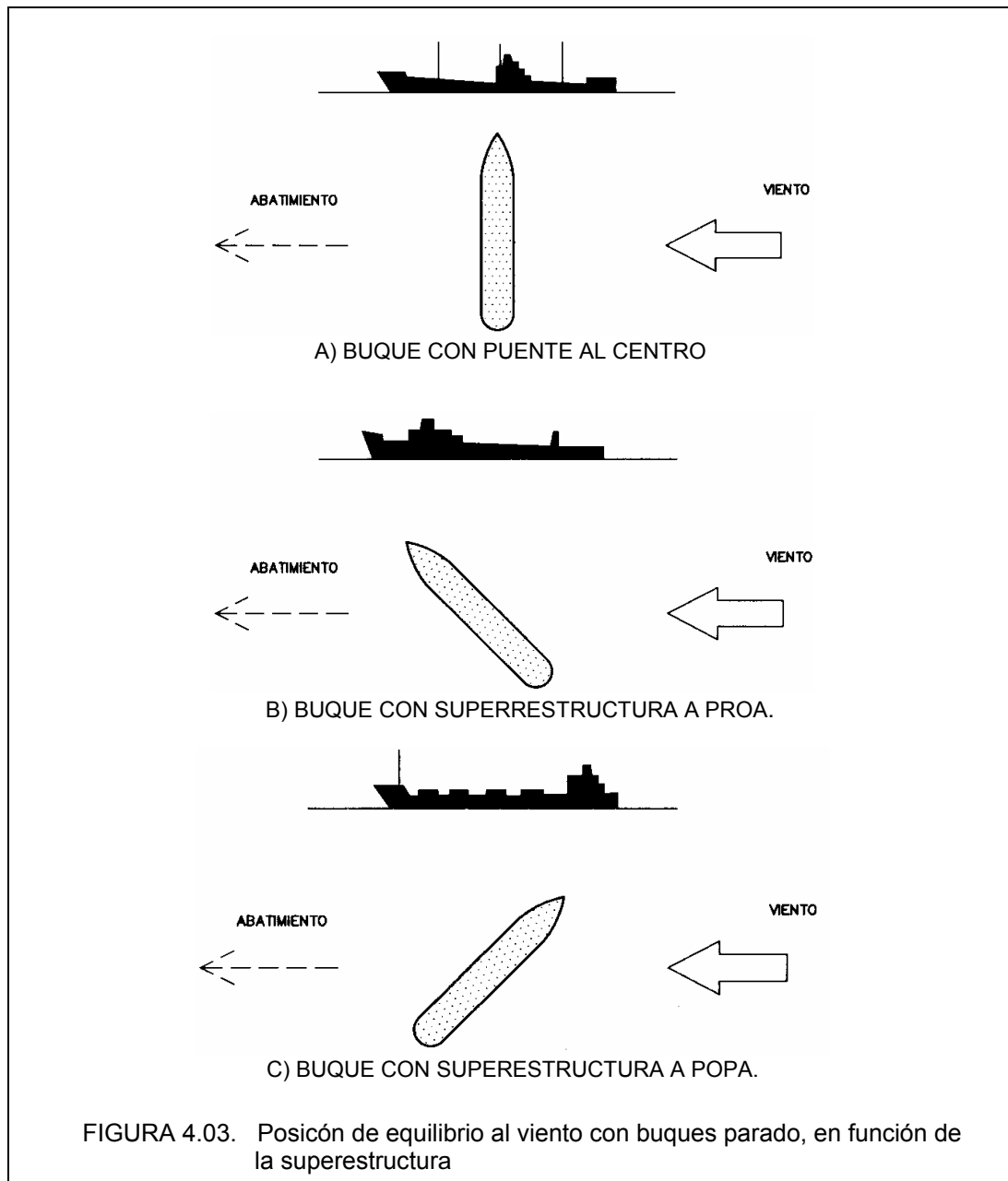


FIGURA 4.02. Posición de equilibrio al viento con buques parado, en función del asiento

#### 4.1.3. POSICION DE EQUILIBRIO CON BUQUE CON MARCHA AVANTE

Si partiendo de la posición de equilibrio en reposo se pone máquinas avante con timón a la vía, el buque queda sometido a la acción de arribada del empuje del viento sobre la obra muerta, a la acción de orzada debida a la resistencia de la carena, y a la acción de las olas que normalmente actuarán en el mismo sentido que el viento. El buque cae entonces algo en busca del viento, recibéndolo desde una dirección a proa del través, hasta alcanzar una posición de equilibrio que depende del tipo de buque, de su velocidad, de la intensidad del viento y del estado del mar, si lo hubiera.

Este efecto también puede comprenderse sabiendo (ver capítulo 6) que la mayoría de los buques con arrancada avante, su punto giratorio, o centro de giro aparente del buque durante la evolución, se encuentra muy a proa, razón por la cual la presión ejercida por el viento sobre el área expuesta a popa de dicho punto es mayor que la que actúa por delante del mismo, y, en consecuencia, tiende a hacerlo orzar cayendo con su proa al viento hasta presentarle su amura. El grado con que ese efecto se hace sentir depende fundamentalmente de la forma y distribución de la superestructura; por ello buques de distintos tipos reaccionan en forma diferente al navegar en marcha avante, pero cualquier tendencia será más notable a velocidades moderadas que a las altas, y en los mercantes cuando están en lastre o poco cargados.



#### 4.1.4. POSICION DE EQUILIBRIO CUANDO EL BUQUE LLEVA ARRANCADA ATRAS

Para cualquier tipo de buque con arrancada atrás, la única posición en que se equilibran los efectos del viento y del mar y la resistencia de la carena, es llevando la popa al viento. Esto se debe a que cuando un buque toma arrancada atrás su punto giratorio se desplaza hacia popa, estando más cerca de este extremo que de la proa, y en consecuencia caerá de arribada hacia el viento.

Esta regla es invariable, y la popa va al viento tanto más rápidamente cuanto mayor sea la intensidad del viento y la velocidad hacia atrás del buque. La tendencia es tanto más marcada cuanto más apartado de esa posición final de equilibrio esté el buque en su orientación original, y una vez alcanzada aquélla tratará de mantenerla dentro de pequeñas oscilaciones. La citada tendencia podrá ser disminuida, o a lo sumo casi equilibrada, por el efecto de las hélices cuando el buque tiene poca o ninguna arrancada atrás. Si el viento es fresco, la popa irá en busca del mismo con sólo una arrancada moderada atrás aunque se coloque todo timón en contra.

Es indispensable tener en cuenta este principio en toda maniobra que obligue a ir con el buque atrás, especialmente en radas restringidas o en el interior de los puertos.



Cuando se evoluciona en aguas abiertas con algo de marejada, hay que evitar tomar demasiada arrancada atrás, pues los cascos del buque son poco aptos para recibir el embate de las olas en popa, tanto por su diseño como por su solidez de construcción. Para llevar la popa al viento basta dar máquinas atrás muy despacio con la hélice de sotavento y la evolución se realizará tomando una arrancada muy reducida.

## 4.2. ACCION Y EFECTOS DE LA CORRIENTE

### 4.2.1. CONCEPTOS GENERALES

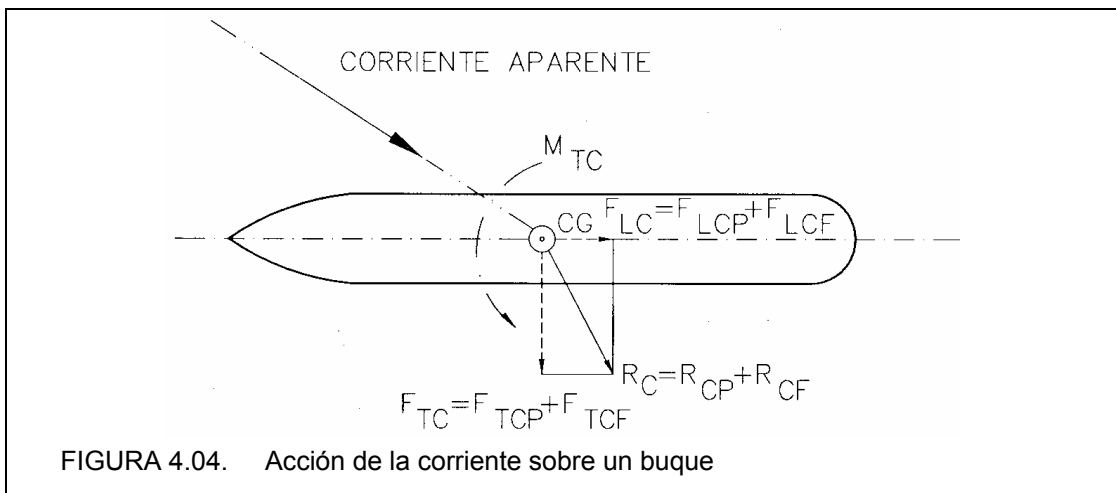
La resistencia que ofrece la obra viva del buque al flujo de la corriente es similar a la que ofrece la obra muerta al viento, pero para una misma velocidad la fuerza resultante es mucho mayor, debido a que la densidad del agua es muy superior a la del aire.

La acción de una corriente uniforme actuando sobre un buque se representa en la fig. 4.04 en la que la fuerza horizontal resultante sobre la obra viva del buque  $R_C$  no pasará en general por el centro de gravedad, pudiendo descomponerse en los siguientes efectos parciales:

- Una componente  $F_{LC}$  en el sentido longitudinal del buque, suma de las acciones producidas por la presión y por la fricción respectivamente ( $F_{LCP} + F_{LCF}$ ).
- Una componente  $F_{TC}$  en el sentido transversal del buque, suma de las acciones producidas por la presión y por la fricción respectivamente ( $F_{TCP} + F_{TCF}$ ).
- Un Momento resultante  $M_{TC}$  debido a la excentricidad de las fuerzas de presión en relación con el centro de gravedad del buque.

Adicionalmente a estos tres esfuerzos principales podría considerarse la componente en el sentido vertical del buque y los dos momentos sobre los ejes longitudinal y transversal, cuyos efectos pueden ser necesarios tomar en consideración para determinar los sobrecargados del buque debidos a esta acción de la corriente.

El efecto de esta acción de la corriente, cuando es uniforme, tenderá a trasladar al buque en su conjunto en el mismo sentido y velocidad con que fluye aquélla. En el caso de un buque amarrado la acción de la corriente será resistida por amarras y defensas, que se dimensionarán según los criterios de la ROM 02.90 «Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias». En el caso de un buque parado sin amarrar la deriva del buque se producirá según el efecto anteriormente expuesto, es decir en el mismo sentido y velocidad con que fluye la corriente uniforme. En el caso más general de buque en movimiento, será necesario tomar en consideración todas las acciones externas e internas del buque para poder determinar su trayectoria, tomando en consideración que en todos estos casos la corriente que realmente actúa sobre el buque es la corriente aparente o relativa con relación a él, cuya dirección e intensidad son las resultantes de la corriente absoluta real y de una velocidad igual y contraria a la absoluta del buque. De los múltiples casos que pueden presentarse al respecto se analizan los tres más habituales.



#### **4.2.2. NAVEGACION EN UNA CORRIENTE GENERAL UNIFORME TRANSVERSAL AL BUQUE**

Como la corriente representa el movimiento de toda la masa de agua en una dirección determinada, al actuar sobre la obra viva del buque le trasladará en conjunto en el mismo sentido y velocidad con que fluye aquélla.

El maniobrista no puede, en general, generar una corriente relativa respecto al buque que no sea en la dirección hacia proa o popa a no ser que se aplique a aquél una carga externa; en consecuencia, si se maniobra un buque recibiendo corriente del través, debe esperarse que sea arrastrado de costado por acción de aquélla a menos que se recurra a medios externos para controlar el efecto de deriva, y en ese caso se requiere disponer de fuerzas relativamente grandes. En determinadas situaciones, con corriente fuerte del través no quedará otra solución que valerse de la ayuda del ancla, amarras, e incluso de remolcadores, para poder ejecutar la maniobra deseada.

El maniobrista debe tener, por tanto, siempre presente la acción de las corrientes, y tanto más cuando maniobra el buque en aguas restringidas, con el propósito de poder contrarrestar sus efectos o aprovecharlos en beneficio de la maniobra si así le conviniese. Debe sumar el vector de la corriente al del movimiento de propulsión del buque sobre el agua para determinar la dirección, velocidad y sentido con que aquél se desplazará realmente respecto del fondo.

Las cualidades de maniobra propias de un buque no se ven afectadas en nada si toda la masa del agua que cubre el área donde aquél evoluciona se mueve en conjunto a velocidad constante. Sin embargo, cuando se maniobra en aguas limitadas o cerca de obstáculos fijos, hay que tener debidamente en cuenta la distancia que el buque derivará apartándose de la derrota prevista por acción de la corriente, para tomarse el margen de resguardo correspondiente.

#### **4.2.3. NAVEGACION EN UNA CORRIENTE GENERAL UNIFORME LONGITUDINAL AL BUQUE**

En líneas generales el efecto es el mismo descrito en el párrafo anterior, si bien conviene precisar algunos aspectos sobre la maniobrabilidad del buque, especialmente sobre el criterio extendido de que los buques maniobran relativamente mejor con corriente en contra que con corriente a favor. Cuando se tiene corriente de proa, el barco se desplaza a menor velocidad con respecto al fondo, pero conserva la eficacia de gobierno correspondiente a su régimen de propulsión, pudiendo hasta llegarse al caso de que regulando adecuadamente su velocidad se mantenga casi estacionario junto a objetos fijos, obedeciendo fácilmente a la acción del timón. En esas circunstancias, al meter el timón, el radio de la trayectoria para los primeros 45° de caída se reduce substancialmente (ver apartado 6.3), lo cual constituye una gran ventaja desde el punto de vista de su maniobrabilidad. Por ejemplo un buque que navega con máquinas adelante despacio avanzando a 5 nudos a través del agua y que recibe una corriente en contra de 3 nudos, se moverá a la muy baja velocidad de 2 nudos con respecto a obstáculos fijos, como boyas, muelles o buques fondeados, pero gobernará bien respondiendo al timón, que recibirá las líneas de corriente de agua con un flujo de 5 nudos.

Por el contrario, cuando un buque avanza con corriente de popa y a poca máquina, su velocidad con respecto al fondo es mayor que la de propulsión, pero sus condiciones de maniobra son las mismas que para máquinas a marcha lenta, pues su arrancada respecto del agua es pequeña y la acción del timón no se ve incrementada por el efecto de la corriente, como ocurría en el caso de tener la corriente de proa. En esas condiciones el radio de la trayectoria para caer los primeros 45° (ver apartado 6.3) se ve aumentado desproporcionadamente y se requerirá del maniobrista gran precisión y especial vigilancia durante la evolución.

#### **4.2.4. NAVEGACION EN CORRIENTES NO UNIFORMES**

En determinadas ocasiones, especialmente en Áreas de Navegación de dimensiones limitadas o próximas a la costa, es frecuente que el flujo de la corriente no sea uniforme difiriendo bastante en dirección y velocidad dentro de distancias cortas; asimismo es posible que las corrientes tengan efectos no uniformes por diferencias de salinidad, densidad o por las diferentes profundidades de agua existentes en unas y otras zonas. En estos casos la incidencia sobre la maniobra es significativa ya que la proa puede estar sometida a una corriente distinta de la que actúa en la popa o a corrientes iguales que produzcan acciones de diferente magnitud, pudiendo incluso llegar a darse el caso de que

los extremos del barco queden sometidos a los efectos de corrientes opuestas, que llegarían a provocar una situación difícilmente gobernable.

De presentarse estos supuestos deberá extremarse la precisión del estudio y la determinación de las acciones climáticas en las que podría efectuarse la maniobra, que podría conllevar el cierre del área durante aquellos períodos de tiempo o condiciones en las que no pueda garantizarse la seguridad de la maniobra.

### 4.3. ACCION Y EFECTOS DEL OLEAJE

**4.3.1.** En todas las maniobras que se consideran del buque es imprescindible analizar la incidencia del oleaje, ya que en cualquier Area de Navegación o Flotación, por resguardada que se encuentre, siempre será posible que se presenten olas, frecuentemente asociadas a la presencia de viento.

El casco de un buque se estudia y diseña para que su deslizamiento sea óptimo en condiciones normales de navegación. Todo movimiento, ya sea de balance o cabeceo que van asociados muy caracterizadamente a la presencia del oleaje, modifica el flujo del agua alrededor del casco, y al destruir la armonía de las líneas de corriente se produce un efecto de frenado por aumento de la resistencia.

Por otra parte la ola que no llega a romper arrastra en el sentido de su propagación a la parte del buque que se encuentra sobre una cresta y en sentido contrario a la que está más cerca de su seno. En consecuencia, el buque, al desplazarse a través de estas olas, sufre acciones evolutivas alternadas que tienden a hacerlo seguir una trayectoria en zigzag. Este efecto es tanto más pronunciado cuanto mayor es la altura de la ola y cuanto más se aproxima la eslora del buque a una semilongitud de aquélla.

En el caso de las olas rotas o que lleguen a romper sobre el casco del buque, el mar actúa tanto sobre la obra viva como sobre la obra muerta del buque y genera esfuerzos muy superiores a los de las olas no rotas. Si las olas se reciben desde una dirección a proa del través, incidirán en forma más directa y efectiva sobre la parte delantera del buque que sobre la popa y en consecuencia se pondrá de manifiesto una tendencia a aumentar el abatimiento debido al viento que normalmente acompaña el temporal. El barco reducirá la velocidad con respecto al fondo y tratará de caer con su proa hacia el seno de las olas, atravesándose al mar, especialmente si se mueve avante con poca máquina.

Cuando las olas se reciben desde una dirección a popa del través, su acción tenderá a aumentar la arrancada del buque y a hacerlo orzar cayendo con su popa hacia el seno de las olas, siendo este último efecto más marcado cuando se navega en la pendiente descendente que en la ascendente. Si se reciben las olas de popa, el buque tendrá tendencia a guiñar y atravesarse y se requiere gobernar con bastante timón, lo que retardará su avance, pudiendo esto contrarrestar el efecto del mar de aumentar su velocidad con respecto al fondo.

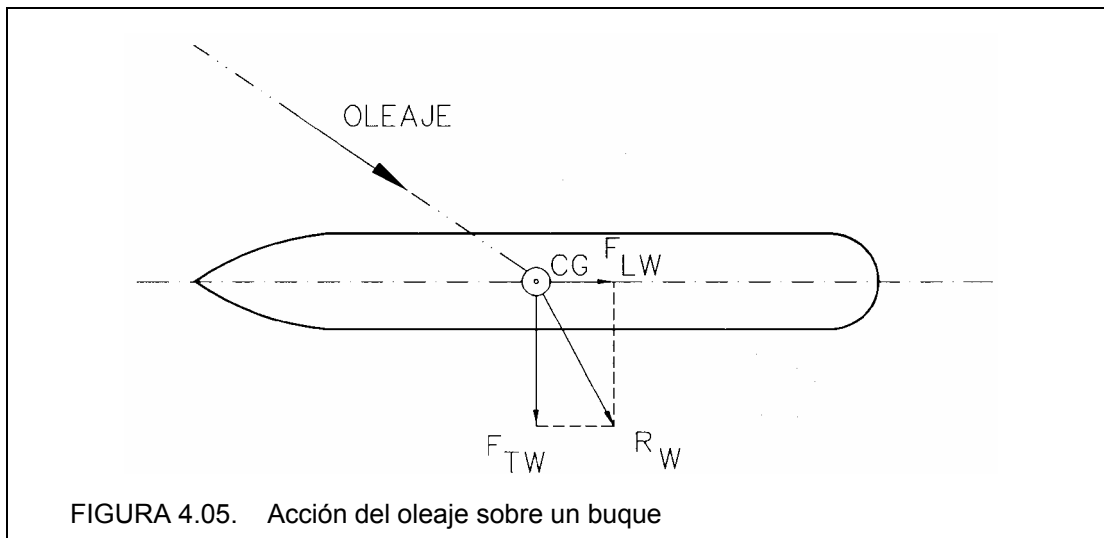
En consecuencia, el efecto general del mar sobre el gobierno del buque es tender a atravesarlo a las olas, y, vengan éstas de la amura o de la aleta, será necesario aplicar timón para mantenerse al rumbo previsto, lo que ocasionará una pérdida adicional de velocidad.

Los efectos del mar que se acaban de describir son más notables cuanto más baja es la velocidad de propulsión del buque, y pueden variar si el viento y las olas se reciben desde distintas direcciones.

**4.3.2.** Por lo que se refiere al estudio en planta, la acción del oleaje puede simplificarse con el esquema recogido en la fig. 4.05, en la que se ha representado la fuerza horizontal resultante  $R_w$ , que en primera aproximación puede suponerse que pasa por el centro de gravedad del buque, por lo que puede descomponerse en los siguientes efectos:

- Una componente  $F_{LW}$  en el sentido longitudinal, que tiende a hacer avanzar o retroceder el buque según cual sea el ángulo de incidencia del oleaje.
- Una componente  $F_{TW}$  en el sentido transversal del buque, que tiende a desplazarle con un movimiento de deriva.

Adicionalmente a estos dos esfuerzos principales que producen movimientos de traslación es necesario considerar los movimientos oscilatorios producidos sobre los ejes lon-



gitudinal y transversal del buque (balance y cabeceo, respectivamente) cuyo efecto más significativo es aumentar los sobrecargados del buque y las profundidades de agua necesarias para una navegación en condiciones de seguridad.

**4.3.3.** Todos los buques, de acuerdo con su tipo, dimensiones y condiciones de carga, tienen un período natural de balance y de cabeceo bien definidos, que son independientes de las amplitudes de esos movimientos.

Período de balance o de rolido es el intervalo que tarda un buque en ir desde la posición de adrizado a una escora máxima a una banda a otra máxima de la banda opuesta y volver al estado de adrizamiento. El período de balance de un buque es directamente proporcional a la manga del mismo e inversamente proporcional a su altura metacéntrica; en consecuencia cuanto más ancho y de menor altura metacéntrica sea un buque, tanto mayor será el período de balance del mismo.

Período de cabeceo es el tiempo que tarda la proa del buque en levantarse desde la horizontal, ascender y luego descender por debajo de esa posición hasta llegar de nuevo a la horizontalidad.

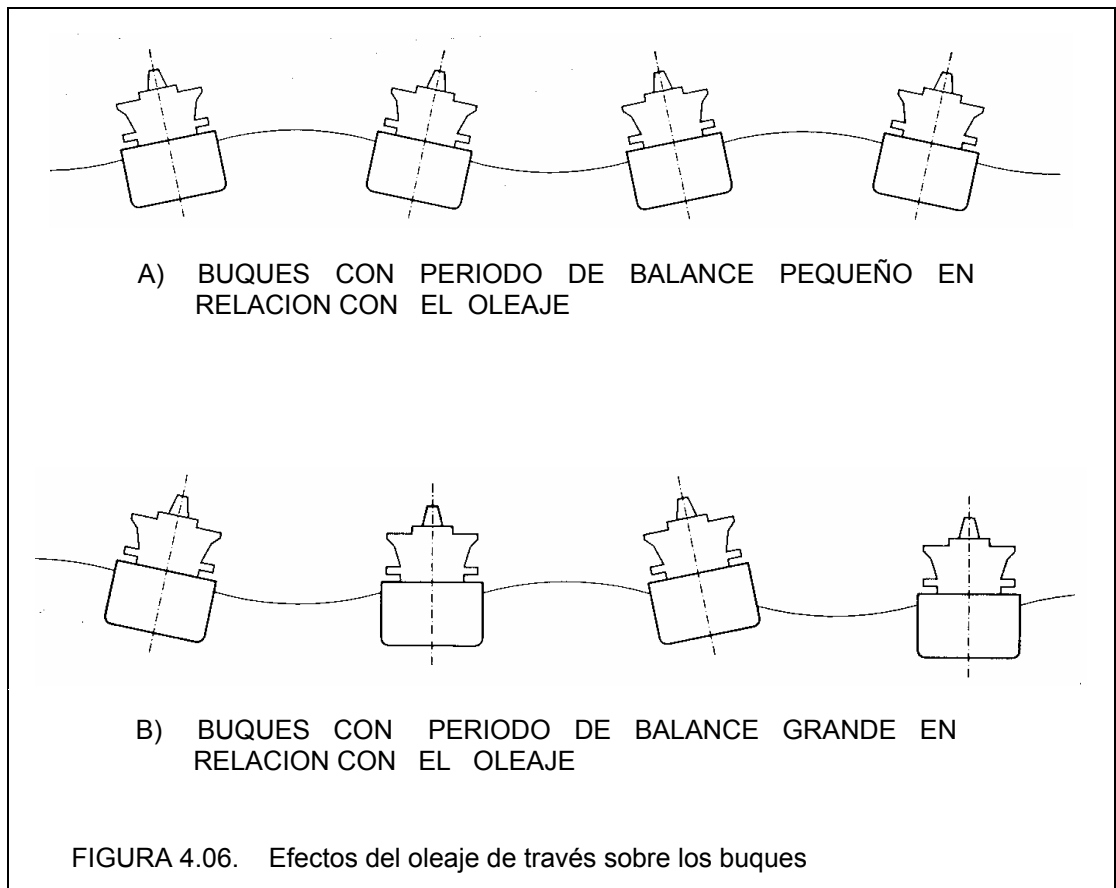
Si cualquiera de estos períodos naturales coincide con los períodos del oleaje pueden producirse fenómenos de resonancia que aumentarán considerablemente los movimientos oscilatorios del buque. No obstante, si el buque está en movimiento habrá que tomar en consideración que el período de las olas a considerar será el denominado período de encuentro o período aparente o relativo, que es el intervalo entre el paso de dos crestas sucesivas por un mismo punto del buque y que depende por tanto no solo del período propio del oleaje, sino también de la velocidad del buque y del ángulo que éste forme con la dirección del oleaje. Esta consideración permite que un buque en movimiento pueda modificar sus condiciones de respuesta frente al oleaje, variando su rumbo, su velocidad o ambos.

**4.3.4.** El movimiento de balance y cabeceo de un buque en el mar depende, por tanto, del tamaño de las olas y de la relación entre el período de encuentro y los períodos de balance y de cabeceo propios del mismo, y el máximo de movimiento se desarrollará cuando haya sincronismo entre esos valores. Por lo que respecta a esta relación, se pueden presentar los siguientes casos:

- 1.º Cuando el período del buque es pequeño en comparación con el período de encuentro, el buque tenderá a montar las olas manteniendo su cubierta paralela a la pendiente de la ola. Con el mar del través, el buque se inclinará siempre a la parte opuesta de la cresta (ver figura 4.06.a); en la cresta y en el seno, estará vertical; adquiriendo un balanceo tanto mayor cuanto menor sea la diferencia entre el período del oleaje y el período vertical de balance del buque. Con el mar de proa, un período de cabeceo pequeño respecto al de encuentro producirá un movimiento cómodo y tranquilo del buque sin que éste embarque agua.

- 2.º Cuando el período del buque es grande en comparación con el período de encuentro, el buque cabeceará o rolará independientemente de las olas. Con mar del través esto significará que el buque se escorará hacia la cresta con balanceo relativamente tranquilo (ver figura 4.06.b), aunque las olas golpeando sobre el costado de barlovento puedan llegar a mantener mojada la cubierta. Si la diferencia de período es muy grande, el buque se mantendrá casi constantemente vertical. Con mar de proa, un período de cabeceo comparativamente grande puede provocar que el buque hunda su proa en el mar y saque fuera del agua sus hélices y timón.
- 3.º Cuando el período de encuentro se acerca a la sincronización con el período de balance o de cabeceo, el movimiento del buque será violento. Con mar de proa el cabeceo será muy severo, pudiendo causar que las hélices se disparen frecuentemente y provocar esfuerzos perjudiciales en la estructura del buque. Con mar del través el sincronismo significará balanceos peligrosamente intensos. Los buques muy bajos de borda o con pobre reserva de estabilidad es posible que puedan llegar a dar una vuelta de campana; pero los que están adecuadamente diseñados y se encuentren sin daño no zozobrarán, porque hay fuerzas resistentes que se oponen al balance hasta llegar a un equilibrio entre las fuerzas que contribuyen al rolido y las resistentes que se le oponen. El buque continuará así rolando al límite máximo hasta que se haga algo para romper la situación de sincronismo. Si el buque tiene arrancada, esto puede lograrse modificando el período de encuentro, para lo cual se deberá cambiar el rumbo o la velocidad, o ambos; con ello el período aparente de las olas dejará de coincidir con el período de balance propio del buque, y la intensidad de los rolidos disminuirá.

**4.3.5.** Como a igualdad de otras condiciones los períodos de balance y cabeceos de los buques están estrictamente vinculados con sus tamaños, es posible hacer las siguientes consideraciones generales sobre los movimientos de balance y cabeceo.



#### **4.3.5.1. BALANCES**

Cuando se produce el sincronismo se debe salir de esa situación alterando el rumbo, la velocidad o ambos; orzando hacia la dirección del mar el período de encuentro disminuye y arribando aumenta.

Los buques mayores, que se caracterizan por tener un período de balance muy grande, rara vez encuentran olas que les impriman rolidos excesivos, pues sus períodos son generalmente superiores al de las olas. A pesar de ello, las caídas arribando respecto del mar deben hacerse con cuidado, porque el aumento del período de encuentro les provoca rolidos más violentos.

Los buques ligeros y de pequeño período de balance se comportan bastante bien en temporales y tienden por eso a mantener su cubierta paralela a las pendientes de las olas; en esta operación cuanto más alejan la proa de la dirección del mar, más aliviados se hallan, porque al aumentar el período de encuentro más se diferencia éste de su período de balance propio. Estos buques de períodos de balance cortos tiene la desventaja de rolar mucho aun con relativo buen tiempo, porque el movimiento normal del mar tiene un período que puede ser muy parecido al de ellos.

Los buques de períodos medios requieren especial atención porque con frecuencia se presenta en ellos el sincronismo. Como no siempre es aconsejable orzar con ellos contra el mar, pueden disminuirse los rolidos arribando y aumentando algo la velocidad si fuera necesario.

#### **4.3.5.2. CABECEOS**

El período natural de cabeceo de un buque es por lo general sensiblemente inferior al de las olas que le imprimen el movimiento de cabeceo. A velocidad moderada el buque se mantendrá con su eje longitudinal paralelo a la pendiente de las olas y navegará bastante cómodamente. Navegando con mar de proa, si se aumenta la velocidad puede llegar a producirse el sincronismo y el cabeceo resultante será muy violento. Arribando y aumentando la velocidad al mismo tiempo se incrementará el período de encuentro y disminuirá el cabeceo. Al descender por la pendiente de las olas en este caso es posible que la proa emerja parcialmente del agua y se presentará casi siempre una tendencia a atravesarse al mar, como ya se comentó anteriormente.

**4.3.6.** De las consideraciones anteriores se deduce que debe tenerse especial cuidado en el gobierno de los buques de carga durante los temporales, porque la maniobra adecuada depende de la estiba de la carga y de los períodos de balance y cabeceo propios del buque, los cuales varían según la naturaleza y condiciones de su carga.

Los períodos de rolido dependen de la altura metacéntrica que el buque tenga en determinadas circunstancias. Con buque descargado, la disminución de la altura metacéntrica puede dar un período de rolido grande, siendo conveniente en este caso la maniobra opuesta a la recomendable cuando el mismo buque se encuentra completamente cargado, en que al aumentar la altura metacéntrica disminuye su período de balance. En el primer caso le podría convenir más recibir el mar a proa del través, y en el segundo, por la aleta. Las cargas líquidas deben ser objeto de especial atención.

El libre movimiento del agua de una banda a la otra, ya sea en los tanques o compartimentos situados debajo del centro de gravedad o bien en cubierta, incrementará el período y amplitud de los rolidos. Este efecto será más marcado cuando las superficies líquidas están en las partes altas del buque.

**4.3.7.** Resumiendo lo expuesto en los párrafos anteriores la acción del oleaje puede ocasionar sobre el buque alguno o varios de los siguientes efectos:

- Movimientos violentos de balance y/o cabeceo, que afectan a su estabilidad, aumentan su calado, reducen la eficiencia y comodidad del personal, y pueden llegar a causar averías en la carga de los buques mercantes.
- Vibraciones anormales del casco, que provocan esfuerzos excesivos sobre la estructura del buque.
- Vibraciones en el sistema de propulsión al variar continuamente la profundidad a que trabajan las hélices, que incluso pueden «dispararse» al emerger sobre la superficie del mar.

- Averías en la obra muerta o carga estibada en cubierta por acción directa de las olas.
- Embarque de grandes masas de agua, que afectan las condiciones de estabilidad y flotabilidad.
- Reducción de la velocidad real y la efectividad del gobierno.

#### **4.4. EFECTOS DE LOS TEMPORALES**

En el caso de navegación en temporales los efectos podrían analizarse por combinación de los casos anteriores (vientos, oleajes y corrientes), sin embargo podrían efectuarse algunas consideraciones generales sobre los efectos conjuntos aplicables a estos supuestos.

Cuando un buque se ha visto obligado a reducir su velocidad a despacio durante un temporal, la presión del viento sobre su obra muerta tendrá un mayor efecto sobre las cualidades de la maniobra. Este efecto se ve acrecentado en el caso de buques poco cargados y en aquéllos de poco calado o grandes superestructuras. Cuando se navega muy lentamente o se paran máquinas, la mayoría de los buques tiende a atravesarse al viento, y cuando éste es excepcionalmente violento, puede resultar difícil girarlos llevando la proa al mar (orzando) a pesar de que puede ser posible hacerlos caer arribando. En un tifón o huracán puede resultar imposible virar ciertos buques llevando su proa al viento, lo cual es una buena razón para explicar por qué todos los marinos evitan navegar en tales condiciones cuando tienen tierra o peligros a sotavento.

La magnitud en que abate un buque durante un temporal depende de su velocidad, calado, francobordo y de su rumbo con respecto a la dirección del viento y del mar. Con vientos de fuerza de huracán y temporal, el abatimiento con vientos de través puede ser muy considerable, pudiendo alcanzar dos o más nudos, particularmente si el buque navega a baja velocidad.

#### **4.5. EFECTO DE LAS BAJAS PROFUNDIDADES**

En forma general, el efecto de las aguas poco profundas es aumentar la resistencia a la propulsión y disminuir las cualidades de maniobra de los buques cuando se desplazan a considerable velocidad. La causa de este fenómeno radica en que, al entrar a navegar en menores profundidades, la separación entre el fondo y la quilla se va reduciendo y con ello el espacio que permite el desarrollo normal de las líneas de corriente, hasta que llega un momento en que se altera el patrón de las líneas de flujo en las proximidades del casco, y las presiones disminuyen. Como resultado se forman en la superficie ondas transversales a la altura de la proa y de la popa que parecen acompañar al buque en su movimiento. De hecho, el incremento de las dimensiones de la onda de popa es un indicio claro de que se navega en aguas someras. La pérdida de energía gastada por el buque en la formación de esas ondas significa una reducción en la potencia disponible para propulsarlo (menor empuje real), y además las perturbaciones producidas en el flujo de aguas afectan a la eficiencia de las hélices; como consecuencia de todo ello se produce una disminución en la velocidad del buque.

Los efectos de las bajas profundidades sobre el gobierno de los buques suelen ser más marcados en aquéllos en que las corrientes de expulsión de las hélices no actúan directamente sobre el timón. Tales efectos normalmente son más pronunciados cuando se navega en aguas restringidas (ríos, puertos o canales), que cuando se hace en aguas abiertas de similar profundidad, y es probable que también tengan consecuencias más peligrosas en el primer caso. La única forma de recuperar el control del buque cuando se ha perdido por causa del efecto de aguas poco profundas es reducir de inmediato la velocidad en forma drástica.

Cuando en aguas someras y restringidas se maniobra a velocidad, o se trata de virar un buque con movimientos de máquinas, es posible que no se cumplan todos los efectos evolutivos normalmente esperables del timón y las hélices. El agua se ve impedida para fluir libremente de una u otra banda por debajo del buque y hasta puede ocurrir que las fuerzas laterales de las hélices se comporten en forma opuesta a la previsible. A veces se suelen formar remolinos que contrarrestan el efecto del timón o de la fuerza lateral.

#### **4.6. EFECTO DE SUCCION Y RECHAZO DE LAS ORILLAS**

Cuando un buque navega avante según una trayectoria recta en un medio homogéneo, el flujo del agua alrededor del casco es prácticamente simétrico en la banda de estribor que la de babor y no se producen esfuerzos desequilibrados excepto los que puedan derivarse del funcionamiento de las hélices.

Si esta navegación se produce en las proximidades de una orilla o margen el flujo de agua alrededor del casco deja de ser simétrico, produciéndose alteraciones en la distribución de presiones sobre el casco, que dependen no sólo de la diferente velocidad del agua a una y otra banda, sino también de la generación de vórtices y separación del flujo del agua en la banda más próxima a la orilla. La consecuencia práctica de este efecto es la aparición de los dos fenómenos siguientes:

- Una succión transversal del buque hacia la orilla que ocasiona derivas del barco en ese sentido.
- Un momento sobre el eje vertical del buque que pasa por su centro de gravedad, que ocasiona un movimiento de guiñada en el sentido de separar la proa del buque de la orilla.

Ambos efectos dependen de la velocidad de navegación, de la separación del buque a la orilla y de la configuración de esta orilla, siendo más importante cuando se trata de una pared vertical que de un talud inclinado.

El fenómeno anterior puede corregirse haciendo uso del timón, si bien en el caso de tratarse de una navegación por un canal, podría suceder que el resultado de esta maniobra fuera un movimiento hacia la banda contraria que no pudiera controlarse posteriormente, por lo que el maniobrista deberá estar atento para emplear las máquinas de inmediato o fondear un ancla si ello resultase necesario.

#### **4.7. EFECTO DE CRUCE DE BUQUES**

En canales o áreas de navegación restringida, el buque puede sufrir otras influencias debidas a la interacción con otros buques amarrados o en navegación. En ambos casos el fenómeno es el mismo y puede verse esquematizado en la fig. 4.07 en el que se representa el efecto de cruce de buques : a medida que se acercan, la presión del agua entre ambos tratará de separar sus proas, al pasar por el través tenderán a mantenerse paralelas, y al sobrepasarse sus popas se atraerán mutuamente. Este efecto se puede corregir con una utilización adecuada del timón. En la fig. 4.08 está representada la incidencia del paso de un buque sobre otro amarrado y las acciones que se generan en este último a consecuencia de este paso. Asimismo el fenómeno se presenta en el caso de adelantamiento de buques en donde puede llegar a producirse una situación de riesgo de colisión entre los barcos.

Adicionalmente habría que tomar en consideración la incidencia en cada buque del tren de olas asociado al otro barco en movimiento.

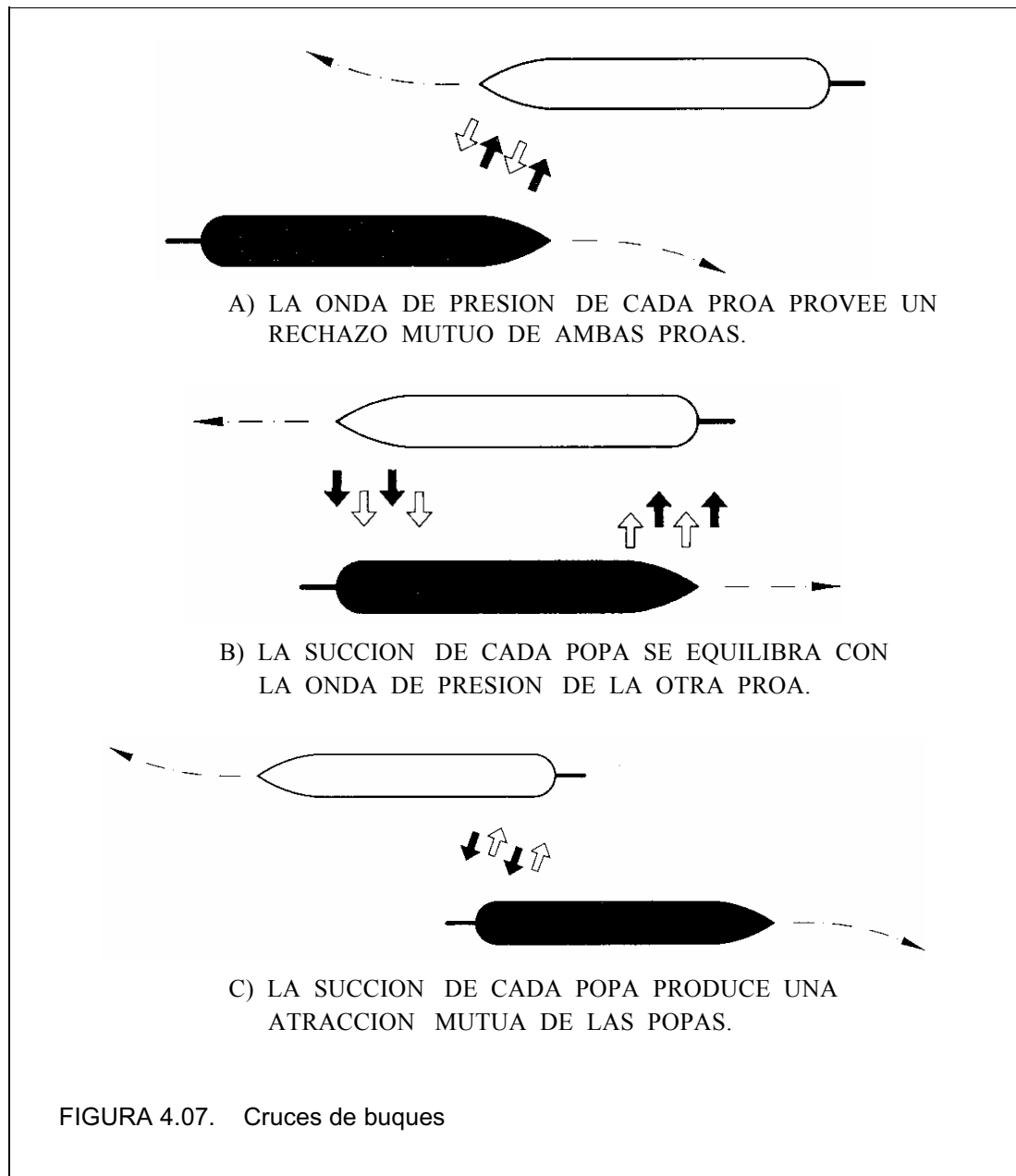
#### **4.8. EVALUACIÓN DE LAS ACCIONES EXTERNAS SOBRE EL BUQUE**

La evaluación de las acciones exteriores sobre el buque se calcularán aplicando los criterios de la Recomendación ROM 02. Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias y ROM 04. Acciones Climáticas II: Viento, utilizando como valores de las variables (velocidad del viento, velocidad de la corriente y características del oleaje), los valores máximos relativos con respecto a buque en movimiento que se deduzcan a partir de los valores absolutos de las condiciones límite de explotación que se establezcan para el puerto o la instalación correspondiente. En consecuencia se utilizarán los criterios siguientes.

##### **4.8.1. VIENTO**

Los esfuerzos resultantes de las presiones del viento sobre los buques podrán ser discretizados en una fuerza horizontal en el sentido longitudinal del buque, otra en el sentido transversal y un momento de eje vertical, todos ellos aplicados en e centro de gra-



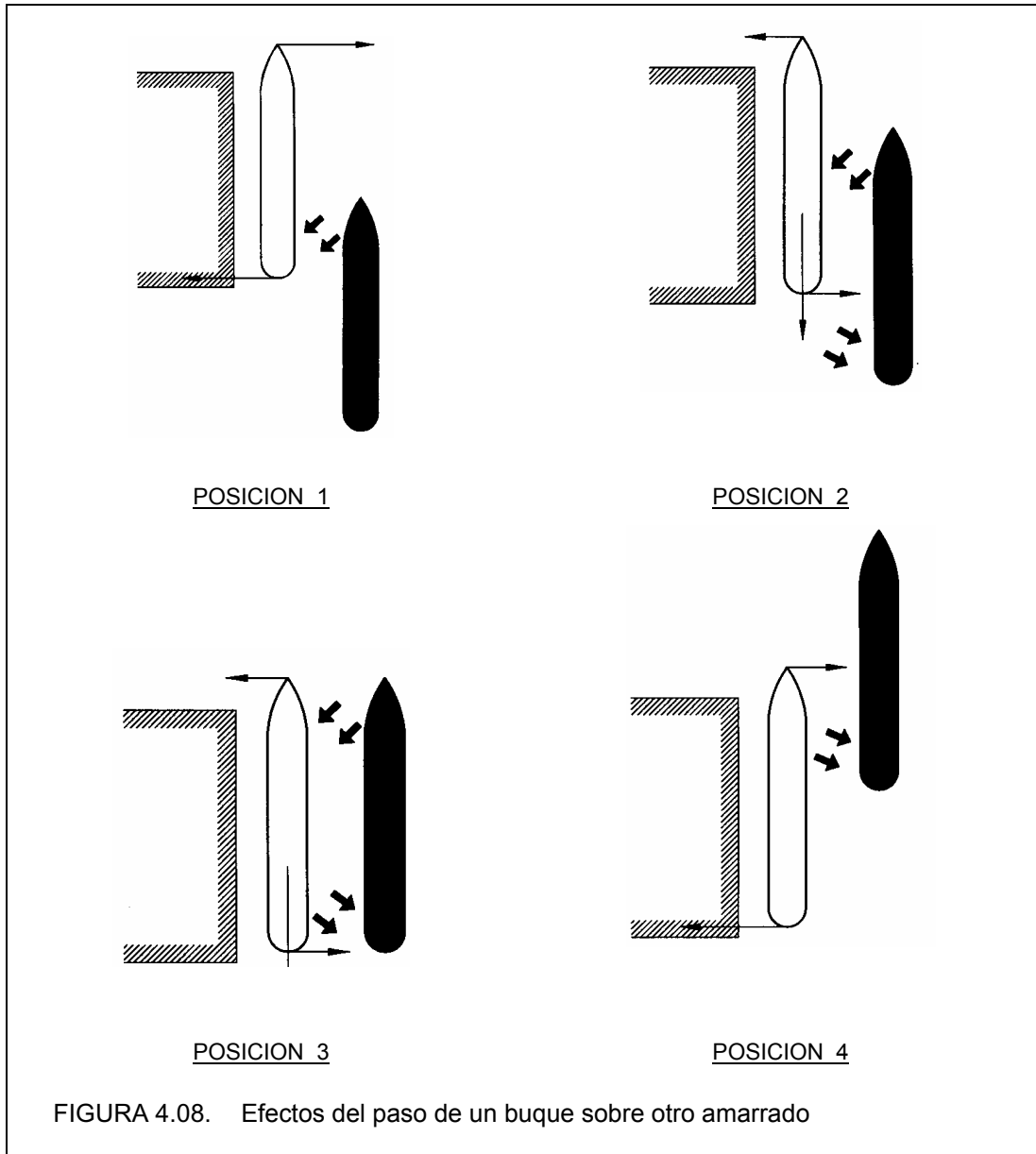


vedad del buque. Se determinarán mediante la formulación consignada en la Tabla 4.1, sin perjuicio de otros métodos existentes de validez reconocida para buques específicos. Se recuerda que el cálculo deberá efectuarse para el viento aparente o relativo, cuya dirección e intensidad son las resultantes del viento absoluto real y de una velocidad igual y contraria a la absoluta del buque tal como se esquematiza en la fig. 4.09.

#### 4.8.2. CORRIENTES

La actuación de corrientes sobre un buque podrá dar lugar a tres tipos de esfuerzos: esfuerzos de presión, esfuerzos de rozamiento y esfuerzos inducidos por fenómenos de inestabilidad dinámica que dan lugar a oscilaciones laterales autoexcitadas (efecto «flutter»).

Los esfuerzos resultantes de presiones  $R_{CP}$  y fricciones  $R_{CF}$  producidas por las corrientes sobre los buques podrán ser discretizados en una fuerza horizontal en el sentido longitudinal del buque, otra en el sentido transversal, y un momento de eje vertical, todos ellos aplicados en el centro de gravedad del buque. Podrán determinarse mediante la formulación consignada en las Tablas 4.2 y 4.3, sin perjuicio de otros métodos existentes de validez reconocida para buques específicos. Se recuerda que el cálculo deberá efectuarse para la corriente aparente o relativa, cuya dirección e intensidad son las resultantes de la



corriente absoluta real y de una corriente igual y contraria a la absoluta del buque, tal como se esquematiza en la fig. 4.10.

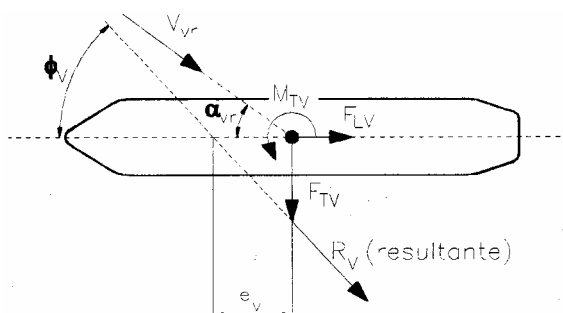
Los esfuerzos inducidos por el efecto «flutter» son de difícil formulación matemática, haciendo imprescindible su determinación mediante ensayos en modelo o mediciones sobre prototipo. Este efecto es importante únicamente en casos particulares referidos a buques amarrados, por lo que no se tomarán en cuenta a efectos de áreas de navegación y flotación.

#### 4.8.3. OLEAJE

La complejidad en la cuantificación analítica de los esfuerzos producidos por el oleaje sobre un buque es muy grande debido a su dependencia de muchas variables, entre otras:

- Características del oleaje incidente: tipo de ola (progresiva o estacionaria), altura, período y dirección.
- Características del buque: tipología, desplazamiento, dimensiones, espacio libre bajo la quilla, etc.
- Tipo de movimiento del buque.

TABLA 4.1. ESFUERZOS RESULTANTES DE LAS PRESIONES DEL VIENTO SOBRE LOS BUQUES



*Formulación general*

$$R_v = \frac{\rho}{2g} \cdot V_{vr}^2 \cdot \frac{C_{VL} \cdot A_{TV} \cdot \cos^2 \alpha_{vr}}{\cos(\phi_v - \alpha_{vr})} + \frac{C_{VL} \cdot A_{LV} \cdot \cos^2 \alpha_{vr}}{\cos(\phi_v - \alpha_{vr})}$$

*Formulación simplificada* (aplicable cuando no se disponga de una información más precisa de los factores de forma « $C_{VT}$ » y « $C_{VL}$ »)

$$R_v = \frac{\rho}{2g} \cdot C_{VF} \cdot V_{vr}^2 (A_{TV} \cdot \cos^2 \alpha_{vr} + A_{LV} \cdot \sin^2 \alpha_{vr}) = \frac{C_{VF} \cdot V_{vr}^2}{16.000} (A_{TV} \cdot \cos^2 \alpha_{vr} + A_{LV} \cdot \sin^2 \alpha_{vr})$$

*Formulación aplicable en ambos casos (general y simplificado)*

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \phi_v &= \frac{A_{LV}}{A_{TV}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{vr} & F_{TV} &= R_v \cdot \operatorname{sen} \phi_v \\ F_{TV} &= R_v \cdot \operatorname{sen} \phi_v & M_{TV} &= F_{TV} \cdot e_v = F_{TV} \cdot K_{ev} \cdot L \end{aligned}$$

siendo:

$R_v$  = Fuerza resultante horizontal, en t.

$\phi_v$  = Angulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante, en grados.

$F_{TV}$  = Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante, en t.

$F_{LV}$  = Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante, en t.

$M_{TV}$  = Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque, en t . m.

$\rho$  = Peso específico del aire ( $1,225 \cdot 10^{-3} \text{ t/m}^3$ ).

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

$C_{VF}$  = Factor de forma (adimensional). Puede variar entre 1,0 y 1,3. A falta de una determinación más precisa mediante estudios en modelo, se adoptará el valor 1,3 para cualquier forma del buque y dirección de actuación del viento.

$C_{VL}$  = Factor de forma para el cálculo de la resultante de la acción del viento sobre el buque, actuando en la dirección de su eje longitudinal. Su valor es muy variable en función de las características y forma del barco y de su estado de carga; como primera aproximación pueden tomarse los valores siguientes:

0,80 para viento de proa ( $\alpha_{vr} = 0$ )

1,00 para viento de popa ( $\alpha_{vr} = 180^\circ$ )

$C_{VT}$  = Factores de forma para el cálculo de la resultante de la acción del viento sobre el buque, actuando en la dirección de su eje transversal. Su valor es muy variable en función de las características y forma del barco y de su estado de carga, pudiendo adoptarse como primera aproximación un valor de 1,25 ( $\alpha_{vr} = 90^\circ$ ).

**TABLA 4.1. (Continuación)**

$a_v$  = Angulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación del viento absoluto (de donde viene), en grados.

$a_{vr}$  = Angulo entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa y la dirección de actuación del viento relativo (de donde viene) en grados.

$V_v$  = Velocidad básica absoluta horizontal del viento, correspondiente a 10 m de altura, en m/s, supuesta constante para toda altura. Se adoptará como velocidad básica absoluta la velocidad media del viento, determinada en el intervalo (ráfaga) más corto capaz de vencer la inercia del buque. Podrá adoptarse una velocidad absoluta media correspondiente a ráfagas de:

–1 minuto para buques de eslora igual o mayor de 25 m.

–15 segundos para buques de eslora menor de 25 m.

Se adoptará como velocidad básica absoluta ( $V_v$ ) el valor máximo, correspondiente a las condiciones límites de explotación que se establezcan para el puerto o instalación correspondiente, valor que podrá ser diferente según las direcciones de actuación si las características del emplazamiento o de la maniobra que se estudia lo justifican.

Para instalaciones en que los criterios de explotación establecidos no permitan la permanencia de los buques en todo momento o estado se adoptará para el estudio de las maniobras de salida como velocidad básica absoluta aquélla que se corresponda con la expresamente definida como condición límite de permanencia de buques en los atraques, asociada, o no, a una configuración determinada del buque (p.e. lastrado del buque para reducir su superficie expuesta). A falta de criterios de operatividad definidos se adoptará como velocidad límite de permanencia, sin la adopción de medidas reductoras por variación de la configuración del buque, la correspondiente a:

$$V_{v1min} = 22 \text{ m/s } (\approx 80 \text{ km/h})$$

siempre y cuando exista la disponibilidad de remolcadores con una tracción a punto fijo del 125% de la fuerza máxima resultante del viento sobre el buque.

$V_{vr}$  = Velocidad relativa del viento referida al buque. Par su determinación se calculará la resultante del vector velocidad absoluta del viento « $V_v$ », cuantificado como se indica en la definición anterior, con un vector igual y de sentido contrario a la velocidad absoluta del buque « $V$ ».

$\beta$  = Angulo de deriva del buque.

$A_{TV}$  = Area de la proyección transversal del buque expuesta a la acción del viento, en m<sup>2</sup>.

$A_{LV}$  = Area de la proyección longitudinal del buque expuesta a la acción del viento, en m<sup>2</sup>. A falta de valores conocidos dichas áreas podrán aproximarse mediante las expresiones siguientes:

$$A_{TV} = B \cdot (G + h_T)$$

$$A_{LV} = L_{pp} \cdot (G + h_L)$$

siendo:

$B$  = Manga del buque.

$G$  = Francobordo del buque = Puntal – Calado.

$L_{pp}$  = Eslora entre perpendiculares del buque.

$h_T$  = Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano transversal.

$h_L$  = Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano longitudinal.

Los valores usuales de  $B$ ,  $G$  y  $L_{pp}$  para el buque de proyecto a plena carga podrán ser obtenidos a partir de la Tabla 3.1. Cuando los buques estén en condiciones de carga parcial deberá recurrirse a tablas específicas para obtener el calado y las restantes dimensiones en esas condiciones, si bien podrían aproximarse por fórmulas empíricas de validez reconocida. En el caso de buques de forma muy llenos (petroleros, mineraleros, etc.) puede suponerse que en cualquier condición de carga se

**TABLA 4.1. (Continuación)**

mantiene constante el coeficiente de bloque [desplazamiento/(eslora entre perpendiculares x manga x calado x  $\gamma_w$ )]. Para otros tipos de buques se supondría que el coeficiente de bloque del buque se mantiene constante para cualquier condición de carga comprendida entre el 60% y el 100%, y puede tener decrementos de hasta el 10% del valor anterior para condiciones de carga inferiores al 60% de la plena carga.

Los valores usuales de  $h_T$  y  $h_L$  podrán aproximarse a partir de la tabla siguiente, según el tipo de buque de proyecto:

Tipo de buque	Tonelaje TPM	Alturas medias (m)		Tipo de buque	Tonelaje TPM	Alturas medias (m)	
		$h_T$	$h_L$			$h_T$	$h_L$
Petroleros				Transportadores de gases licuados			
	500.000	32.00	4.00		60.000	15.00	4.00
	400.000	29.00	3.80		50.000	14.00	4.00
	300.000	25.00	3.70		30.000	13.00	4.00
	275.000	24.00	3.70		20.000	11.00	4.00
	250.000	23.00	3.60		10.000	9.00	4.00
	225.000	22.00	3.50		5.000	7.50	6.20
	200.000	21.00	3.40		3.000	7.00	5.00
	175.000	20.00	3.30				
	150.000	19.00	3.20				
	125.000	17.50	3.10				
	100.000	16.50	3.00				
	80.000	15.00	2.90				
	70.000	14.50	2.80				
	60.000	14.00	2.70				
Transportadores de productos petrolíferos y químicos				Mercantes de carga general			
	50.000	13.00	2.60		40.000	17.00	5.00
	40.000	12.00	2.40		35.000	16.50	5.00
	30.000	11.00	2.20		30.000	16.00	5.00
	20.000	10.00	2.00		25.000	15.00	5.00
	10.000	9.00	2.00		20.000	14.00	5.00
	5.000	8.50	2.00		15.000	13.00	5.00
	3.000	8.00	2.00		10.000	11.50	5.00
					5.000	8.50	5.00
					2.500	7.50	5.00
Graneleros y polivalentes				Portacontenedores y ro-ro			
	400.000	29.00	5.00		70.000	22.50	12.00
	350.000	27.00	5.00		65.000	21.00	11.00
	300.000	25.00	5.00		60.000	20.00	10.50
	250.000	23.00	5.00		55.000	19.00	10.00
	200.000	21.00	5.00		50.000	18.00	9.00
	150.000	19.00	5.00		45.000	17.00	8.50
	125.000	18.00	5.00		40.000	18.00	8.50
	100.000	16.50	5.00		35.000	16.00	8.50
	80.000	15.50	5.00		30.000	13.50	8.50
	60.000	14.00	5.00		25.000	12.00	8.50
	40.000	12.00	5.00		20.000	10.50	8.00
	20.000	10.00	5.00		15.000	9.00	7.50
	10.000	9.00	5.00		10.000	8.00	7.50
Metaneros				Transportadores de coches			
	60.000	19.00	10.00		30.000	13.00	5.00
	40.000	14.00	8.00		25.000	12.00	5.00
	20.000	12.00	6.00		20.000	10.50	5.00
					15.000	9.00	5.00

**TABLA 4.1. (Continuación)**

Tipo de buque	Tonelaje GT	Alturas medias (m)		Tipo de buque	Tonelaje GT	Alturas medias (m)	
		$h_T$	$h_L$			$h_T$	$h_L$
Transbordadores y ferries convencionales	50.000 40.000 35.000 30.000 25.000 20.000 15.000	22.00	18.00	Pesqueros	3.000	9.00	5.00
		21.00	17.00		2.500	8.00	5.00
		20.00	16.00		2.000	7.50	5.00
		19.00	15.50		1.500	7.20	5.00
		18.50	15.00		1.200	7.00	5.00
		18.00	14.50		1.000	6.80	5.00
		17.50	14.00		700	6.20	5.00
					500	5.90	5.00
			250	5.60	5.00		
Tipo de buque	Tonelaje GT	Alturas medias (m)		Tipo de buque	Desplazamiento (t)	Alturas medias (m)	
		$h_T$	$h_L$			$h_T$	$h_L$
Transbordadores rápidos fast ferries (valores provisionales)				Embarcaciones deportivas			
Tipo catamarán	4.000 5.000 6.000	13.5 14.6 15.2	11.9 12.4 12.9	A motor	50.0	5.50	4.00
					35.0	5.00	3.50
					27.0	4.40	3.00
					16.5	4.00	2.80
					6.5	3.40	2.40
Tipo monocasco	8.000 10.000 15.000 20.000	15.4 16.9 20.8 24.6	13.0 14.6 18.4 22.3	A vela	4.0	2.70	2.00
					1.3	2.10	1.50
					60.0	4.60	5.50
					40.0	4.30	5.00
					20.0	4.00	4.80
					13.0	3.70	4.50
					10.0	3.40	4.20
Cruceros de pasaje				3.5	3.00	4.00	
	80.000 70.000 60.000 50.000 40.000 35.000	23.00 21.00 19.50 18.00 17.00 16.00	21.00 18.00 16.50 15.00 14.00 13.00	1.5	2.70	3.00	

$e_v$  = Excentricidad de la Fuerza Resultante del viento con respecto al CG. del buque medida a lo largo del plano de crujía. Considerando como momentos positivos los representados en la figura que encabeza esta tabla, se entenderá como excentricidad positiva la que se produzca hacia la proa del buque.

$K_{ev}$  = Coeficiente de excentricidad (adimensional).

Los valores del coeficiente de excentricidad podrán aproximarse a partir de la tabla siguiente, a falta de datos específicos:

BUQUES CON SUPERESTRUCTURA CENTRADA		
$\alpha_{vr}$ (en °.)	$K_{ev}$	
	En lastre	A plena carga
0	0	0
30	0,15	0,10
60	0,05	0,03
90	-0,02	0,02
120	-0,10	0,10
150	-0,20	0,10
180	0	0

TABLA 4.1. (Continuación)

BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A PROA		
$\alpha_{vr}$ (en °.)	$K_{ev}$	
	En lastre	A plena carga
0	0	0
30	0,33	0,37
60	0,18	0,27
90	-0,04	0,16
120	-0,05	0,12
150	-0,16	0,10
180	0	0

BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A POPA		
$\alpha_{vr}$ (en °.)	$K_{ev}$	
	En lastre	A plena carga
0	0	0
30	0,16	-0,10
60	0,05	-0,12
90	-0,04	-0,16
120	-0,18	-0,27
150	-0,33	-0,37
180	0	0

$L$  = Eslora total del buque, en m.

No obstante, en primera aproximación y a falta de otros estudios más específicos como análisis en modelo o mediciones sobre prototipo, podrá adoptarse la formulación consignada en la Tabla 4.4, surgida de considerar los esfuerzos de oleajes como la resultante de las presiones del fluido sobre el casco del buque producidas por un oleaje regular incidente. Esta resultante podrá descomponerse en una fuerza horizontal en el sentido longitudinal del buque y otra en el sentido transversal suponiendo en primera aproximación que la resultante pasa por el centro de gravedad del buque.

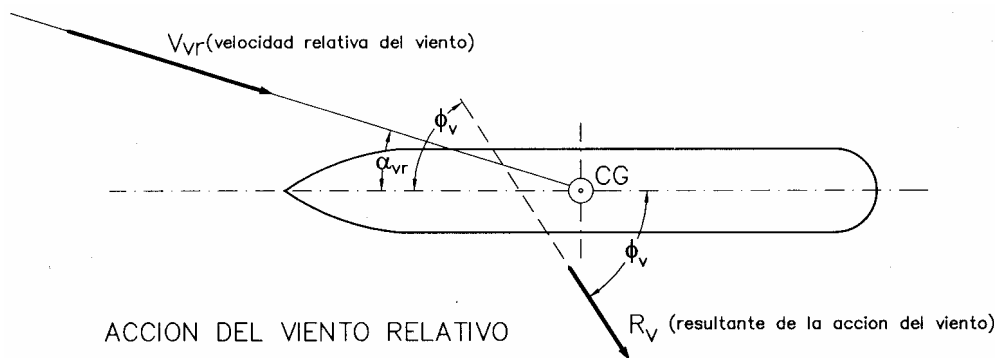
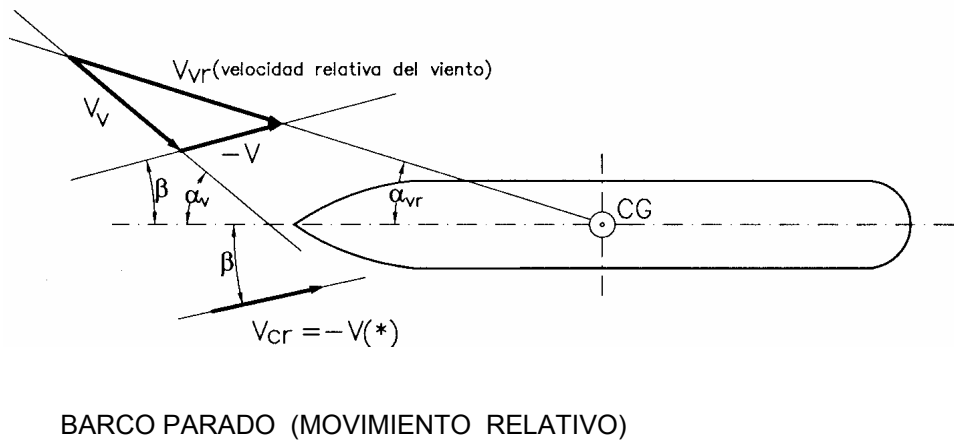
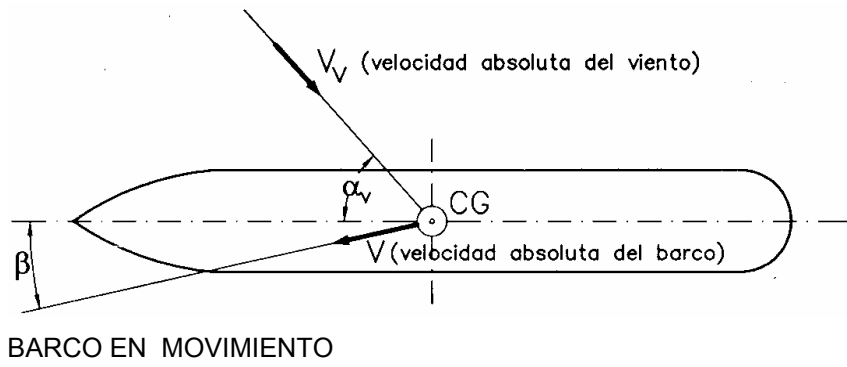
Se recuerda que el cálculo deberá efectuarse para el oleaje aparente o relativo, cuyas características se determinarán en función de las del oleaje absoluto y de la velocidad absoluta del buque tal como se recoge en la Fig. 4.11.

#### 4.8.4. EFECTO DE LAS BAJAS PROFUNDIDADES

El efecto de las bajas profundidades podría determinarse con la formulación para oleajes y corrientes en los que los parámetros que intervienen en el cálculo están determinados en función de la profundidad de agua existente. En el supuesto de que la profundidad de agua no sea homogénea en una u otra parte del buque podrían aproximarse sus efectos, considerando acciones parciales aplicables a cada parte del buque determinadas para las profundidades de agua existentes en cada parte.

#### 4.8.5. EFECTO DE SUCCION Y REHAZO DE LAS ORILLAS

La determinación de este esfuerzo podría realizarse recurriendo a estudios ya realizados sobre ensayos en modelo o a ensayos específicos para el barco que se considere. En cualquier caso este efecto podrá ser despreciado cuando se mantengan los resguardos recomendados en el capítulo 8 de esta ROM, para evitar la presencia de este fenómeno en el análisis en planta de las Áreas de Navegación y Flotación.



NOTAS:

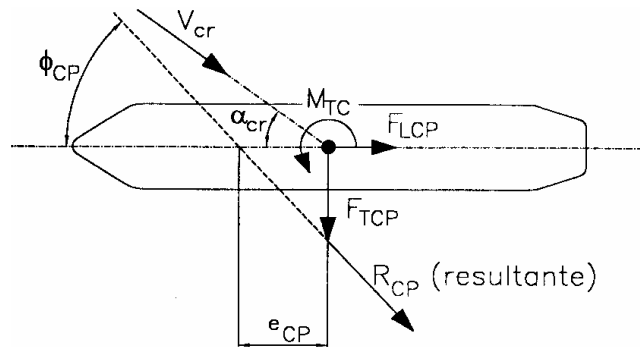
-PARA NOTACION Y TERMINOLOGÍA VER TABLA 4.1

\*-SE HACE NOTAR QUE AL CONSIDERAR EL MOVIMIENTO RELATIVO APARECE UNA CORRIENTE RELATIVA "V<sub>cr</sub>" IGUAL Y DE SENTIDO CONTRARIO A LA VELOCIDAD ABSOLUTA DEL BARCO "V", QUE NO INTERVIENE EN EL CALCULO DE "R<sub>v</sub>"

FIGURA 4.09. Determinación del viento aparente relativo al buque



TABLA 4.2. ESFUERZOS RESULTANTES DE LAS PRESIONES DE LA CORRIENTE SOBRE LOS BUQUES



$$R_{CP} = \frac{\gamma_w}{2g} \cdot V_{cr}^2 \cdot \frac{C_{CL} \cdot A_{TC} \cdot \cos^2 \alpha_{cr} + C_{cr} \cdot A_{LC} \cdot \sen^2 \alpha_{cr}}{\cos(\phi_{CP} - \alpha_{cr})}$$

$$\operatorname{tg} \phi_{CP} = \frac{A_{LC}}{A_{TC}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{cr} \quad F_{LCP} = R_{CP} \cdot \cos \phi_{CP}$$

$$F_{TCP} = R_{CP} \cdot \sen \phi_{CP} \quad M_{TC} = F_{TCP} \cdot e_{cp} = F_{TCP} \cdot K_{ec} \cdot L$$

Siendo:

$R_{CP}$  = Fuerza resultante horizontal de la acción de las presiones de la corriente sobre el buque en  $t$ .

$\phi_{CP}$  = Angulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa y la dirección de la resultante de presiones de corriente en grados.

$F_{TCP}$  = Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante, en  $t$ .

$F_{LCP}$  = Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante, en  $t$ .

$M_{TC}$  = Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque, en  $t \cdot m$ .

$\gamma_w$  = Peso específico del agua:

(1,03  $t/m^3$  agua salada).

(1,00  $t/m^3$  agua dulce).

$g$  = Aceleración de la gravedad (9,81  $m/s^2$ ).

$\alpha_c$  = Angulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerando de proa a popa, y la dirección de actuación de la corriente absoluta (de donde viene), en grados.

$\alpha_{cr}$  = Ángulo entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación de la corriente relativa (de donde viene), en grados.

$V_C$  = Velocidad básica absoluta horizontal de la corriente, correspondiendo a una profundidad del 50% del calado del buque, en  $m/s$ , supuesta constante en toda su altura.

Se adoptará como velocidad básica la velocidad media de la corriente determinada en el intervalo de 1 minuto ( $V_{C, 1min}$ ).

Para esta velocidad básica absoluta ( $V_C$ ) así definida se tomará el valor máximo, relativo al buque, correspondiente a las condiciones límites de explotación que se establezcan para el puerto o instalación correspondiente, valor que podrá ser diferente según las direcciones de actuación si las características del emplazamiento o de la maniobra que se estudia lo justifican.

Para instalaciones en que los criterios de explotación establecidos no permitan la permanencia de los buques en todo momento o estado, se adoptará como velocidad básica absoluta para el estudio de las maniobras de salida aquella que se corresponda con la expresamente definida como condición límite de permanencia de buques en los atraques, asociada o no, a una configuración determinada del buque (p.e. reducción de lastre para reducir la superficie expuesta).

TABLA 4.2. (Continuación)

A falta de criterios de operatividad definidos se adoptará como velocidad límite de permanencia, sin la adopción de medidas reductoras por variación de la configuración del buque, la correspondiente a:

— Corrientes de costado:  $0^\circ < \alpha_c < 180^\circ$   $V_{c1min} = 1$  m/s (2 nudos).

— Corrientes longitudinales:  $\alpha_c = 0^\circ$   $V_{c1min} = 2,5$  m/s (5 nudos).

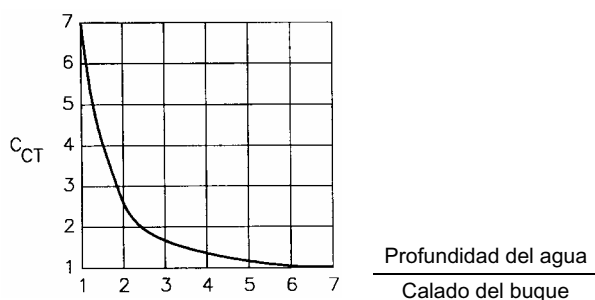
$\alpha_c = 180^\circ$

Siempre y cuando dichos valores sean inferiores a los correspondientes al valor extremal asociado al máximo riesgo admisible, exista la disponibilidad de remolcadores con una tracción a punto fijo del 125% de la fuerza máxima resultante de la actuación de la corriente sobre el buque, y sean compatibles con las características concretas del emplazamiento.

$V_{cr}$  = Velocidad relativa de la corriente referida al buque. Para su determinación se calculará la resultante del vector velocidad absoluta de la corriente « $V_c$ », cuantificado como se indica en la definición anterior, con un vector igual y de sentido contrario a la Velocidad absoluta del buque « $V$ ».

$\beta$  = Angulo de deriva del buque.

$C_{CT}$  = Factor de forma para el cálculo de la resultante de las presiones de la corriente sobre el buque, actuando en la dirección de su eje transversal (adimensional). Depende de la relación Profundidad del agua/Calado del buque de proyecto, incrementándose a medida que los valores de dicha relación se aproximan a 1,00. Puede variar entre 1,00 para aguas profundas y 6,00 para relaciones (Profundidad de agua/calado) = 1,00 según lo consignado en la gráfica siguiente, para cualquier forma del buque y dirección de actuación de la corriente:



$C_{CL}$  = Factor de forma para el cálculo de la resultante de las presiones de la corriente sobre el buque, actuando en la dirección de su eje longitudinal (adimensional). Depende fundamentalmente de la geometría de la proa del buque. Puede variar entre 0,2 y 0,6. A falta de una determinación más precisa se adoptará el valor 0,2 para proa de bulbo y el valor 0,6 para proa convencional.

$A_{LC}$  = Área longitudinal sumergida del buque sometida a la acción de la corriente, en  $m^2$ .

$A_{TC}$  = Área transversal sumergida del buque sometida a la acción de la corriente, en  $m^2$ .

A falta de valores, dichas áreas podrán aproximarse mediante las expresiones siguientes:

$$A_{LC} = L_{pp} \cdot D$$

$$A_{TC} = B \cdot D$$

siendo:

$L_{pp}$  = Eslora entre perpendiculares del buque.

$D$  = Calado del buque.

$B$  = Manga del buque.

TABLA 4.2. (Continuación)

Los valores usuales de  $L_{pp}$ ,  $D$  y  $B$  para el buque de proyecto podrán ser obtenidos a partir de la tabla 3.1.

$e_{cp}$  = Excentricidad de la Fuerza resultante de las presiones de la corriente sobre el buque con respecto a su centro de gravedad medida a lo largo del plano de crujía. Considerando como Momentos positivos los representados en la figura que encabeza esta tabla, se entenderá como excentricidad positiva la que se produzca hacia la proa del buque.

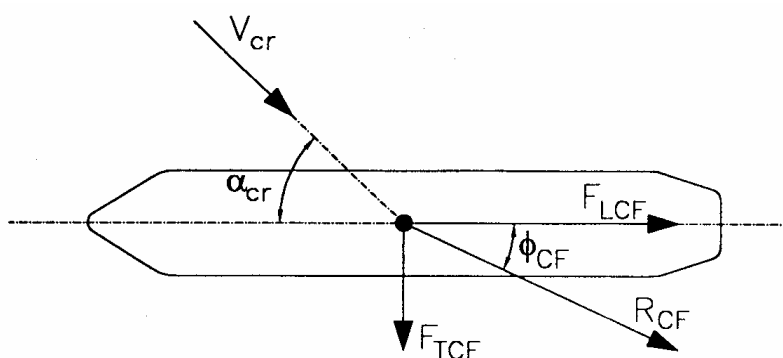
$K_{ec}$  = Coeficiente de excentricidad (adimensional).

Los valores del coeficiente de excentricidad podrán aproximarse a partir de la tabla siguiente, a falta de datos específicos:

$\alpha_{cr}$ (en °.)	$K_{ec}$
0	0
30	0,17
60	0,09
90	0
120	-0,09
150	-0,17
180	0

$L$  = Eslora del buque, en m.

TABLA 4.3. ESFUERZOS RESULTANTES DE LAS FUERZAS DE FRICCIÓN DE LA CORRIENTE SOBRE LOS BUQUES



$$F_{TCF} = \frac{\gamma_w}{2g} \cdot C_r \cdot V_{cr}^2 \cdot A_{TCF} \cdot \text{sen}^2 \alpha_{cr}$$

$$F_{LCF} = \frac{\gamma_w}{2g} \cdot C_r \cdot V_{cr}^2 \cdot A_{LCF} \cdot \text{cos}^2 \alpha_{cr}$$

$$\text{tg } \phi_{CF} = \frac{A_{TCF}}{A_{LCF}} \cdot \text{tg}^2 \alpha_{cr}$$

Siendo:

$R_{CF}$  = Fuerza resultante horizontal de la acción de la fricción de la corriente sobre el buque, en  $t$ .

TABLA 4.3. (Continuación)

$\theta_{CF}$  = Angulo formado sobre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante de fricción de corriente, en grados.

$F_{TCF}$  = Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante debida a la fricción, en t.

$F_{LCF}$  = Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante, debida a la fricción, en t.

$C_r$  = Coeficiente de Rozamiento (adimensional). Podrá adoptarse 0,004 para buques en servicio y 0,001 para buques nuevos (p.e. para proyectos en astilleros).

$A_{TCF}$  = Area de la superficie del buque mojada transversalmente a la dirección de crujía, en m<sup>2</sup>.

$A_{LCF}$  = Area de la superficie del buque mojada longitudinalmente a la dirección de crujía, en m<sup>2</sup>.

A falta de valores conocidos de dichas áreas podrán aproximarse mediante las expresiones siguientes:

$$A_{TCF} = (L_{pp} + 2D) \cdot B$$

$$A_{LCF} = (B + 2D) \cdot L_{pp}$$

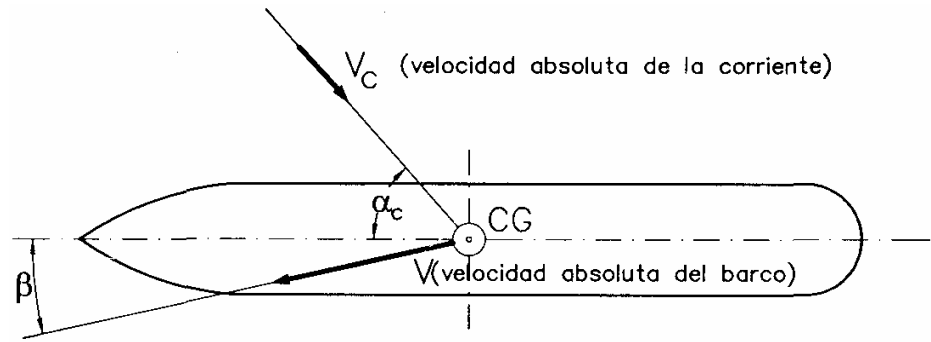
para valores de  $L_{pp}$ , B y D definidos según los criterios de la tabla 3.1 .

$\gamma_w$ , g,  $\alpha_{cr}$  y  $V_{cr}$  tienen significados y valores coincidentes con los recogidos en la tabla 4.2.

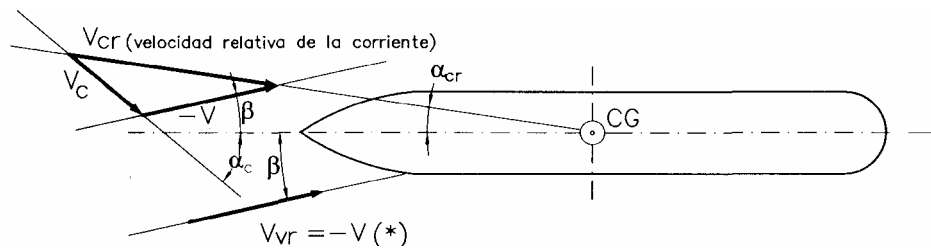
#### 4.8.6. CRUCE CON OTROS BUQUES

El paso de un buque por la proximidad de otro puede provocar, por una parte, un aumento en la agitación debido al tren de olas asociado a un buque en movimiento. Este efecto generalmente no es considerado en el cálculo; sin embargo deberá tenerse en cuenta cuando se prevean velocidades de paso excesivas o en dársenas muy estrechas. La cuantificación analítica de los esfuerzos producidos podrá realizarse según la formulación consignada para el oleaje en el párrafo anterior.

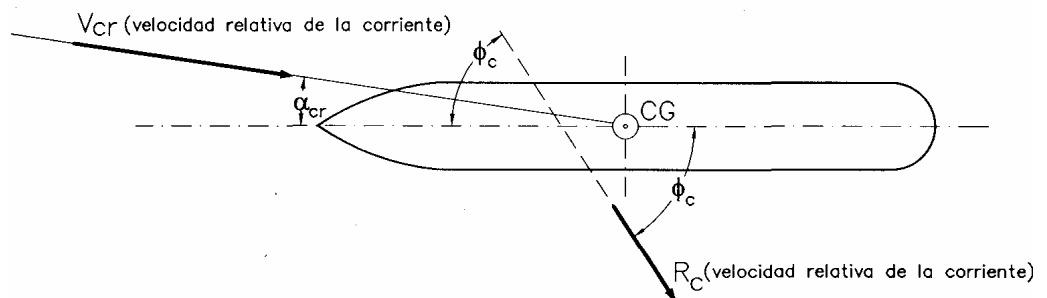
Asimismo si hay cruce o adelantamiento de buques o paso de un buque en las proximidades de otro amarrado, puede producirse el fenómeno de succión y rechazo de las orillas, que se tratará con los mismos criterios establecidos en el párrafo precedente, por tanto este efecto podrá ser despreciado en el caso de que se mantengan los resguardos recomendados en e Capítulo 8 de esta ROM, para evitar la presencia de este fenómeno en el análisis en planta de las Áreas de Navegación y Flotación.



BARCO EN MOVIMIENTO



BARCO PARADO (MOVIMIENTO RELATIVO)



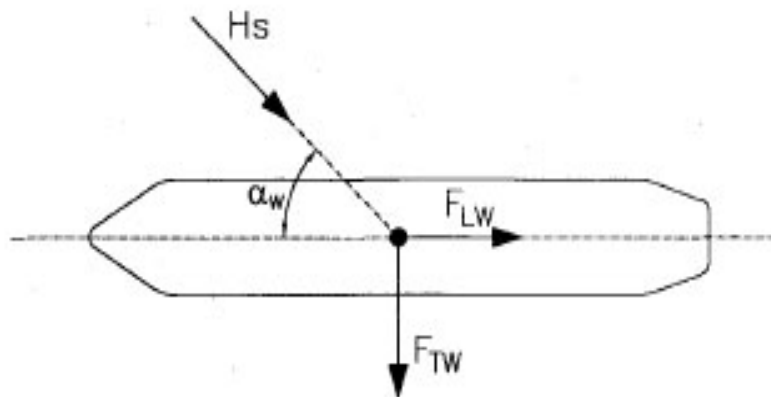
ACCION DE LA CORRIENTE RELATIVA

NOTAS:

\*-SE HACE NOTAR QUE AL CONSIDERAR EL MOVIMIENTO RELATIVO APARECE UNA CORRIENTE RELATIVA " $V_{vr}$ " IGUAL Y DE SENTIDO CONTRARIO A LA VELOCIDAD ABSOLUTA DEL BARCO " $V$ ", QUE NO INTERVIENE EN EL CALCULO DE " $R_c$ "

FIGURA 4.10. Determinación de la corriente aparente relativa al buque

TABLA 4.4. ESFUERZOS RESULTANTES DE LAS FUERZAS DEBIDAS AL OLEAJE SOBRE LOS BUQUES



$$F_{TW} = C_{fw} \cdot C_{dw} \cdot \gamma_w \cdot H_s^2 \cdot L_{proy} \cdot \text{sen } \alpha_w$$

$$F_{LW} = C_{fw} \cdot C_{dw} \cdot \gamma_w \cdot H_s^2 \cdot L_{proy} \cdot \text{cos } \alpha_w$$

siendo:

$F_{TW}$  = Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante, en t.

$F_{LW}$  = Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante, en t.

$\gamma_w$  = Peso específico del agua:

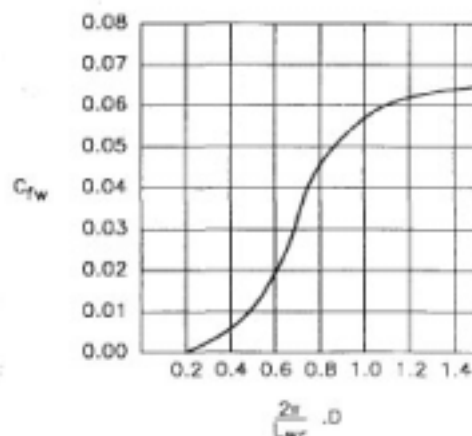
(1,03 t/m<sup>3</sup> agua salada).

(1,00 t/m<sup>3</sup> agua dulce).

$\alpha_w$  = Angulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de incidencia de las olas (de donde viene), en grados.

$C_{fw}$  = Coeficiente de flotación (adimensional).

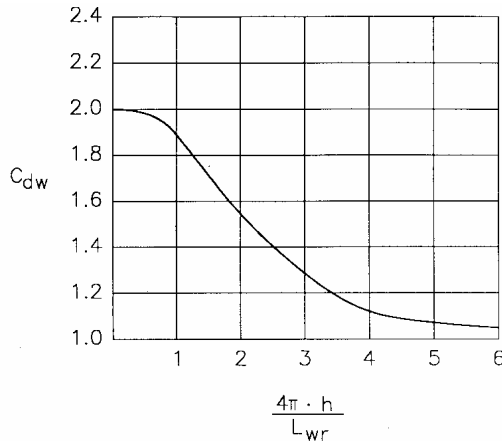
Se adoptará como valor de  $C_{fw}$  el consignado en la tabla siguiente en función de la longitud relativa de ola a la profundidad del emplazamiento  $L_{wr}$  y del calado del buque (D).



$C_{dw}$  = Coeficiente de Profundidad (adimensional).

Los valores de dicho coeficiente serán obtenidos a partir de la tabla siguiente, en función de la longitud relativa de ola a la profundidad del emplazamiento ( $L_{wr}$ ) y de la profundidad de agua existente en el emplazamiento ( $h$ ).

TABLA 4.4. (Continuación)



$L_{proy}$  = Longitud de la proyección del buque en la dirección del oleaje incidente, en m. A falta de valores conocidos podrá aproximarse mediante la expresión siguiente :

$$L_{proy} = L_{pp} \cdot \text{sen } \alpha_w + B \cdot \text{cos } \alpha_w$$

siendo:

$L_{pp}$  = Eslora entre perpendiculares del buque, en m.

$B$  = Manga del buque, en m.

$\alpha_w$  = Dirección del oleaje incidente, en grados.

$H_s$  = Altura de ola significativa para la dirección determinada y a la profundidad del emplazamiento ( $h$ ), en m.

Para esta altura de ola ( $H_s$ ) se tomará el valor máximo correspondiente a las condiciones límites de explotación que se establezcan para el puerto o instalación correspondiente, valor que podrá ser diferente según las direcciones de actuación si las características del emplazamiento o de la maniobra que se estudia lo justifican.

A falta de criterios de operatividad definidos se adoptará como límite de permanencia las alturas de ola significantes recogidas en la Tabla 8.1 del Capítulo 8, a no ser que la  $H_s$  del régimen extremal sea inferior, exista la disponibilidad de remolcadores con tracción suficiente para permitir sacar al buque de la instalación al presentarse las citadas condiciones de oleaje (tracción a punto fijo del 125% de la fuerza máxima resultante), y sean compatibles con las características concretas del emplazamiento.

$L_{wr}$  = Longitud de ola aparente o relativa al buque, en m. a la profundidad del emplazamiento, que podrá calcularse mediante la expresión siguiente:

$$L_{wr} = L_w \cdot \frac{T_{wr}}{T_w}$$

$L_w$  = Longitud de ola absoluta, en m, a la profundidad del emplazamiento.

$T_w$  = Periodo absoluto del oleaje, en s.

$T_{wr}$  = Periodo del oleaje, aparente o relativo al buque o periodo de encuentro, en s., que podrá calcularse mediante la expresión siguiente:

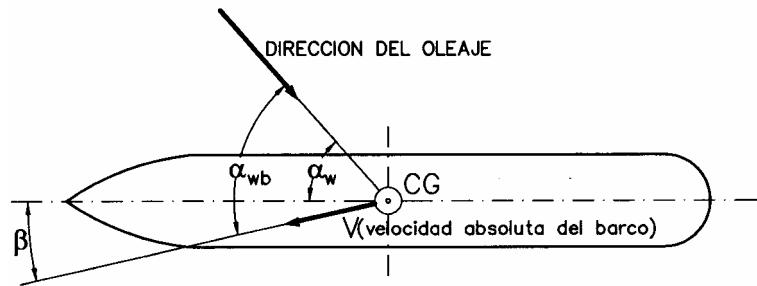
$$\frac{1}{T_{wr}} = \frac{1}{T_w} + \frac{V \cdot \text{cos } \alpha_{wb}}{L_w}$$

En el supuesto de que  $T_{wr}$  sea negativo se entenderá que el oleaje relativo tiene el sentido contrario.

$V$  = Velocidad absoluta del buque con respecto al fondo, en m/s.

$\alpha_{wb}$  = Angulo formado entre la velocidad absoluta del buque y la dirección del oleaje (de donde viene).

$\beta$  = Angulo de deriva del buque.



BARCO EN MOVIMIENTO

### CARACTERISTICAS DEL OLAJE

	ABSOLUTAS	RELATIVAS AL BUQUE
-ALTURA SIGNIFICANTE	$H_s$	$H_s$
-PERIODO DEL OLAJE	$T_w$	$T_{wr}$
-LONGITUD DE OLA	$L_w$	$L_{wr}$
-ANGULO FORMADO ENTRE EL EJE LONGITUDINAL DEL BUQUE, CONSIDERADO DE PROA A POPA Y LA DIRECCION DEL OLAJE (DE DONDE VIENE)	$\alpha_w$	$\alpha_w$
-ANGULO FORMADO ENTRE LA VELOCIDAD ABSOLUTA DEL BUQUE Y LA DIRECCION DEL OLAJE (DE DONDE VIENE)	$\alpha_{wb}$	$\alpha_{wb}$

DETERMINACION DEL PERIODO Y LONGITUD DE OLA RELATIVOS EN FUNCION DE LOS ABSOLUTOS

$$\frac{l}{T_{wr}} = \frac{l}{T_w} + \frac{V \cdot \cos \alpha_{wb}}{L_w}$$

$$L_{wr} = L_w \cdot \frac{T_{wr}}{T_w}$$

EN EL SUPUESTO DE QUE  $T_{wr}$  SEA NEGATIVO SE ENTENDERA QUE EL OLAJE RELATIVO TIENE EL SENTIDO CONTRARIO

NOTA:

-PARA NOTACION Y TERMINOLOGIA VER TABLA 4.4

FIGURA 4.11. Determinación del oleaje aparente relativo al buque







<b>5.1. FUNCIONES DE LOS REMOLCADORES .....</b>	<b>149</b>
<b>5.2. TIPOS DE REMOLCADORES .....</b>	<b>149</b>
<b>5.3. SISTEMA DE PROPULSION Y GOBIERNO DE LOS REMOLCADORES .....</b>	<b>150</b>
5.3.1. SISTEMA DE PROPULSION .....	150
5.3.2. SISTEMAS DE GOBIERNO .....	156
<b>5.4. CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES DE LOS REMOLCADORES .....</b>	<b>158</b>
5.4.1. MANIOBRABILIDAD .....	158
5.4.2. ESTABILIDAD .....	158
5.4.3. POTENCIA .....	158
5.4.4. TRACCION A PUNTO FIJO (BOLLARD PULL) .....	159
<b>5.5. FORMAS DE ACTUACION DE LOS REMOLCADORES .....</b>	<b>159</b>
<b>5.6. ACCION DE LOS REMOLCADORES .....</b>	<b>161</b>
<b>5.7. DETERMINACION DE LAS NECESIDADES DE REMOLCADORES .....</b>	<b>162</b>
<b>5.8. ELEMENTOS DE REMOLQUE .....</b>	<b>164</b>



<b>5.01.</b>	Sistema «Schottel» .....	151
<b>5.02.</b>	Sistema «Voith-Schneider» .....	151
<b>5.03.</b>	Operación del sistema Voith-Schneider .....	152
<b>5.04.</b>	Diagramas de empujes para diversos sistemas de propulsión .....	153
<b>5.05.</b>	Fuerzas de empuje a proa en función de la velocidad (para un remolcador de 2.000 CV) .....	154
<b>5.06.</b>	Esquema tipo de remolcador de una hélice con tobera .....	155
<b>5.07.</b>	Remolcador tipo tractor con propulsor Schottel .....	155
<b>5.08.</b>	Remolcador tipo tractor con propulsor Voith-Schneider .....	156
<b>5.09.</b>	Formas habituales de actuación de los remolcadores .....	160
<b>5.10.</b>	Acción de los remolcadores .....	161



5.1. Características comparadas de remolcadores de doble hélice..... 157





### 5.1. FUNCIONES DE LOS REMOLCADORES

Los remolcadores son embarcaciones auxiliares para la navegación y maniobras de los buques y otros elementos flotantes, que se utilizan para las funciones siguientes:

- Asistir al buque en las maniobras de atraque, desatraque y, en algunos casos, permanencia.
- Ayudar al buque en el revido en un área reducida.
- Dar el apoyo necesario para contrarrestar la acción del viento, del oleaje o de las corrientes en las situaciones en las que el buque navega a baja velocidad, en las que la eficacia del motor propulsor y del timón es baja.
- Ayudar a parar al buque.
- Remolcar, empujar o auxiliar a un buque que se ha quedado sin medios de propulsión o gobierno.
- Transportar gabarras o artefactos flotantes de un lugar a otro.
- Dar escolta, en previsión de pérdida de gobierno, a buques con cargas peligrosas en zonas de alto riesgo.

### 5.2. TIPOS DE REMOLCADORES

Atendiendo al tipo de operación y a la misión a realizar por el remolcador, se pueden dividir en: remolcadores de puerto, remolcadores de puerto y altura y remolcadores de altura y salvamento, aunque también pueden existir remolcadores que realicen los tres tipos de operaciones.

*Remolcador de puerto.* Es el que se emplea en el tráfico interior de puerto, su potencia puede oscilar entre 400 y 3.000 CV o más, con una tracción a punto fijo (bollard pull) de 6 a 30 toneladas, una eslora comprendida entre 20 y 30 m, un calado comprendido entre 3,0 y 4,5 m y una velocidad que varía entre 5 y 13 nudos. Aunque esta función en el tráfico interior del puerto es la habitual, existen remolcadores con base en determinados puertos estratégicos donde operan en solitario y deben poder realizar operaciones de puerto y de altura así como operaciones de salvamento.

*Remolcador de puerto y altura.* Sus operaciones pueden dividirse entre servicios de puerto para auxiliar a grandes buques, amarre de supertanques a monoboyas, remolques costeros de altura etc. Su eslora está comprendida entre 25 y 40 m y su potencia puede variar entre 1.500 y 5.000 CV con una tracción a punto fijo de 20 a 55 toneladas.

*Remolcador de altura y salvamento.* Es el remolcador que por su tamaño y potencia le permite efectuar remolques oceánicos y prestar asistencia a los buques en peligro en alta mar. Las características principales de este tipo de remolcador son: eslora de 40 a 80 m, potencia de 4.000 a 20.000 CV, tracción de tiro a punto fijo de 55 a 180 toneladas y velocidad de 15 a 16 nudos.

La mayoría de los remolcadores de puerto cuenta hoy en día con equipos de lucha contra la contaminación y conincendios. Los remolcadores de altura y salvamento, además de su equipo propio de remolque, cuentan con instalaciones conincendios de agua y agua-espuma con monitores montados sobre plataformas elevadas a 15/20 m. sobre la línea de flotación que, comandados a distancia, pueden apagar incendios de grandes proporciones; disponen también de sistemas de achique para ser empleados en buques si-

niestrados y algunos remolcadores pueden hacer funcionar, por medio de sus elementos auxiliares, los motores principales de un buque siniestrado facilitándole aire para el arranque y energía eléctrica.

### 5.3. SISTEMA DE PROPULSIÓN Y GOBIERNO DE LOS REMOLCADORES

#### 5.3.1. SISTEMA DE PROPULSION

5.3.1.1. El sistema generalizado de propulsión de los remolcadores es por motores diesel que accionan hélices convencionales o especiales. Las hélices convencionales pueden clasificarse en cuatro tipos:

- Hélices de paso fijo.
- Hélices de paso variable.
- Hélices de paso fijo con tobera.
- Hélices de paso variable con tobera.

Las hélices especiales más frecuentemente utilizadas son de dos tipos:

- Sistema Schottel (hélice timón).
- Sistema Voith-Schneider (propulsor cicloidal).

#### *HÉLICES CONVENCIONALES*

Las hélices de paso fijo, como ya se indicó en el Capítulo 3, mantienen su configuración invariable, mientras que en las hélices de paso variable se puede hacer girar cada una de las palas sobre su propio eje, dando el paso requerido en un sentido o en otro e incluso dejándole anulado girando las palas como un disco, lo que permite que el motor gire siempre en el mismo sentido permaneciendo continuamente en marcha.

Las hélices de paso variable son más eficaces que las de paso fijo porque al ajuste de las palas permite desarrollar la máxima potencia o cualquier velocidad, lo que no sucede con las hélices de paso fijo que están diseñadas para las condiciones específicas de operación ordinaria. Sin embargo las hélices de paso variable proporcionan un menor empuje para navegación de atrás, lo que puede ser una limitación importante para los remolcadores en los que se busque un compromiso para el funcionamiento eficaz del remolcador trabajando en uno y otro sentido.

La incorporación de una tobera a estos sistemas, dentro de la cual gira la hélice, mejora significativamente la eficacia del propulsor, equivaliendo a un incremento del diámetro efectivo de la hélice. El efecto que produce la tobera es que al canalizar el paso del agua se consigue un aumento de la velocidad en la sección mínima donde está la hélice, velocidad que disminuye al sobrepasar esta sección, aumentando así la presión y el empuje. El rendimiento de una hélice con tobera puede ser del 25% al 40% superior al sistema propulsor convencional para navegación avante.

#### *HELICES ESPECIALES*

Las hélices especiales son sistemas en los que la hélice hace las funciones de propulsión y gobierno, sustituyendo por tanto al timón. Los sistemas más desarrollados son el tipo Schottel y el Voith-Schneider.

*Sistema Schottel.* Este sistema consiste en una hélice suspendida de un eje vertical en Z o ángulo recto. Fijo al eje hay una tobera dentro de la cual gira la hélice y todo el conjunto puede girar 360° sobre dicho eje vertical. Con este giro se consigue dirigir el chorro de la corriente de expulsión en la dirección deseada, dando una gran maniobrabilidad al remolcador que puede desplazarse en todos los sentidos. Fig. 5.01.

*Sistema Voith-Schneider.* Consiste en un rotor que gira sobre un eje vertical fijo al casco aproximadamente en su punto giratorio (fig. 5.02), provisto de cuatro foils o palas que pivotan sobre ejes verticales accionadas por un mecanismo llamado control de gobierno, que fija el ángulo de ataque de las palas en las diferentes posiciones de maniobra, determinando la posición del centro de gobierno. Cuando el centro de gobierno se separa

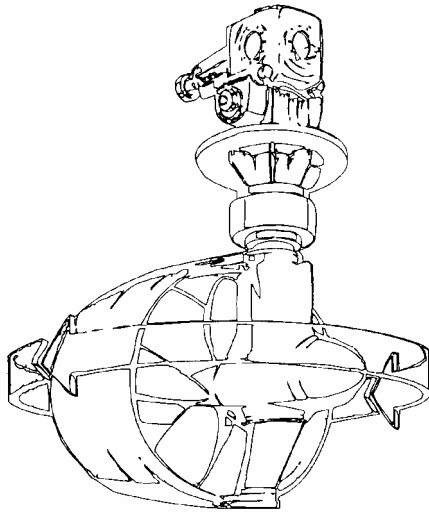


FIGURA 5.01. Sistemas <<Schottel>>

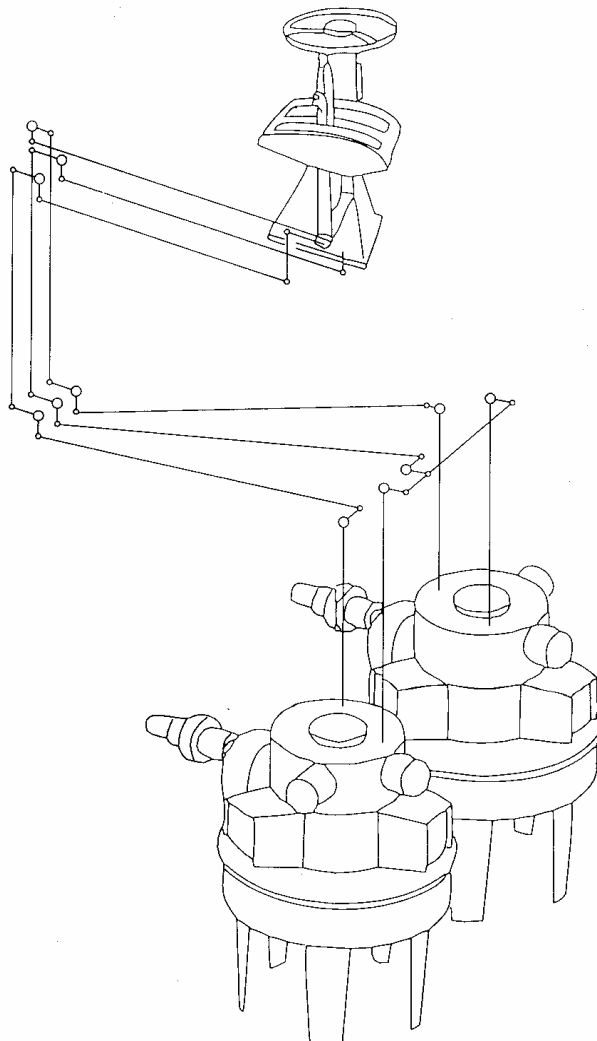


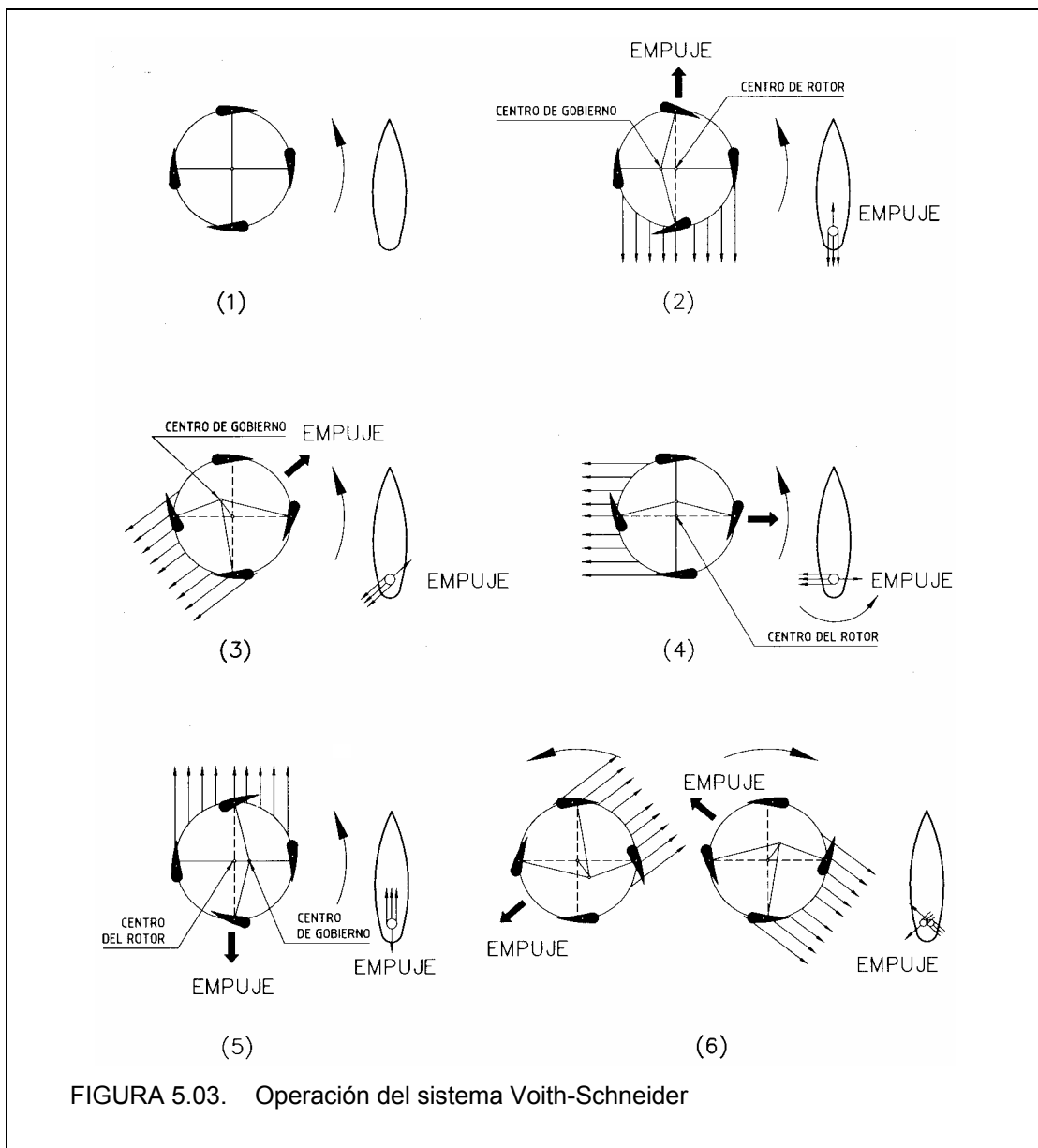
FIGURA 5.02. Sistemas <<Voith-Schneider>>

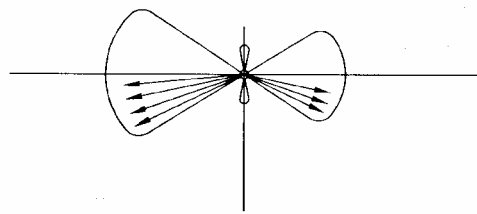
del centro geométrico del rotor, las palas ejercen un movimiento alrededor de su eje produciendo un chorro de agua que crea una reacción en contrario.

El mecanismo está diseñado de un modo sincronizado de manera que las perpendiculares a la cuerda del perfil de cada pala coinciden en el centro de gobierno, con lo cual se consigue que el chorro de agua y el empuje resultantes sean perpendiculares a la línea que une el centro de gobierno con el centro geométrico del rotor; de esta forma puede conseguirse con un solo rotor un empuje en cualquier dirección, lo que da una gran capacidad de maniobra a este sistema (Ver fig. 5.03 posiciones 2, 3, 4 y 5). Si en un remolcador se instalan dos rotores de este tipo tal como se esquematiza en el croquis n° 6 de la misma figura, puede conseguirse que los componentes longitudinales de ambos empujes se compensen entre sí, sumándose las fuerzas transversales, que, de estar aplicadas en el centro de deriva, darían lugar a un desplazamiento lateral del remolcador.

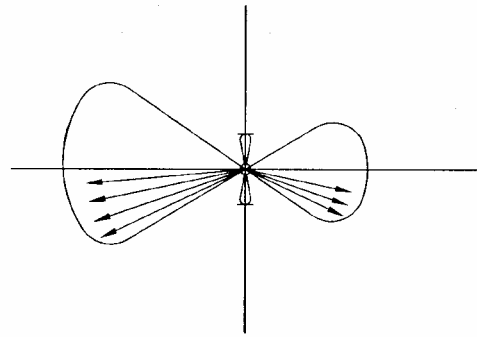
El sistema Voith-Schneider produce un menor empuje para navegación avante que una hélice de paso fijo para la misma potencia instalada, sin embargo esta pérdida de eficacia está compensada por la alta maniobrabilidad obtenida, que es muy necesaria para operaciones en aguas restringidas.

A título comparativo de los sistemas de propulsión descritos se incluye la figura 5.04, en donde se representa el diagrama vectorial de empujes a velocidad cero, en el que puede

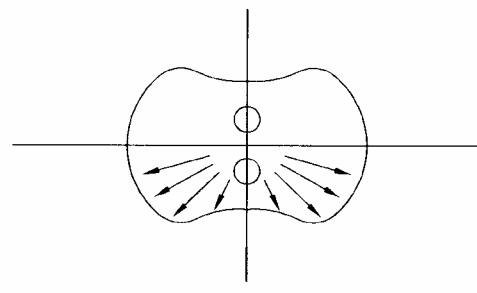




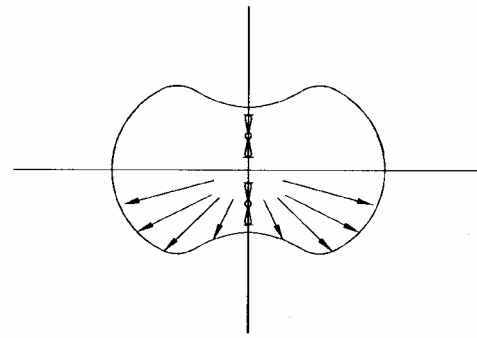
HELICE DE PASO FIJO



HELICE DE PASO FIJO CON TOBERA

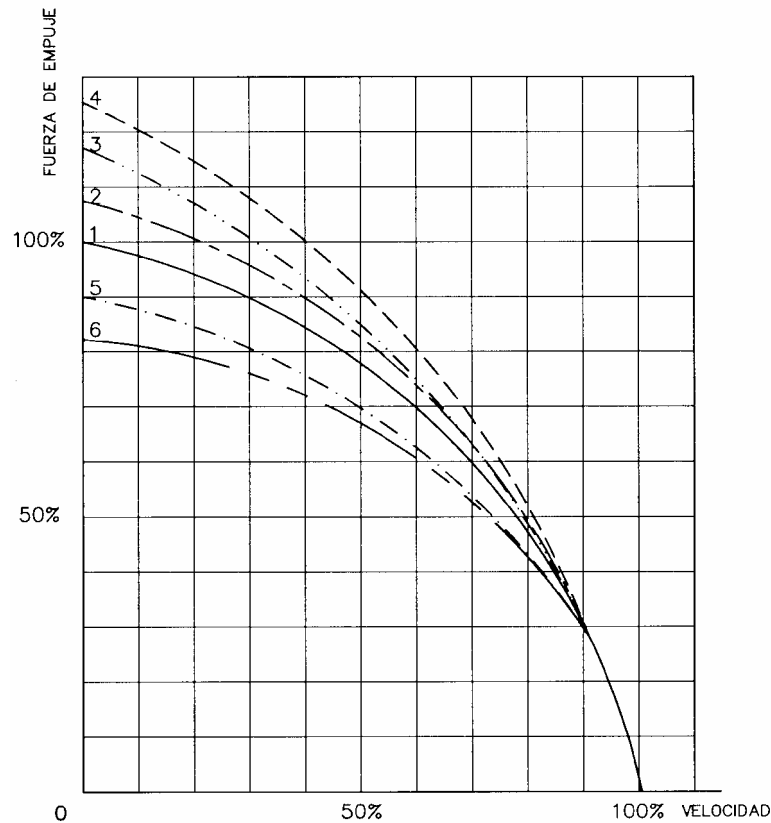


SISTEMA VOITH-SCHNEIDER (2)



SISTEMA SCHOTTEL (2)

Figura 5.04. Diagramas de empujes para diversos sistemas de propulsión



1. HELICES DE PASO FIJO.
2. HELICES DE PASO VARIABLE.
3. HELICES DE PASO FIJO CON TOBERA.
4. HELICES DE PASO VARIABLE CON TOBERA.
5. SISTEMA SCHOTTEL.
6. SISTEMA VOITH-SCHNEIDER.

FIGURA 5.05. Fuerzas de empuje a proa en función de la velocidad (para un remolcador de 2.000 CV)

apreciarse la eficacia de las hélices especiales trabajando en todas las direcciones. Asimismo se incluye la figura 5.05 en la que se recoge la fuerza de empuje a proa producida por los diferentes sistemas de propulsión, en función de la velocidad del remolcador, en la que puede apreciarse la pérdida de eficacia de los remolcadores que se produce al aumentar la velocidad.

**5.3.1.2.** Atendiendo al número y posición de las hélices los remolcadores pueden clasificarse en:

*Remolcador de una hélice.* El remolcador de una hélice es el clásico remolcador convencional que tiene una sola hélice a popa, pudiendo llevarla dentro de una tobera para aumentar la fuerza de tracción; las palas pueden ser fijas o de paso controlable (ver figura 5.06). Posee las siguientes características:

- Es adecuado como remolcador de proa, maniobrable a todas las velocidades.
- Es inadecuado como remolcador de popa porque no tiene maniobrabilidad.
- No tiene maniobrabilidad en marcha atrás.

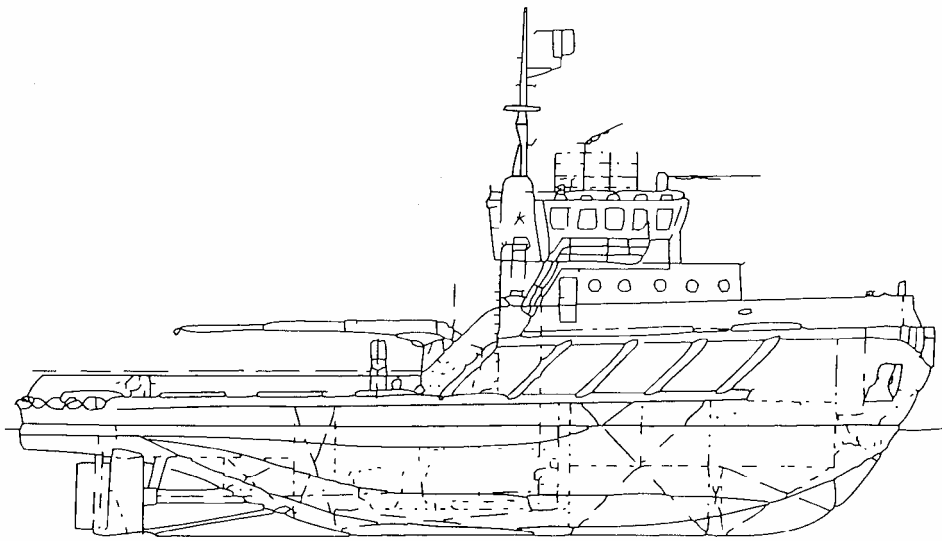


FIGURA 5.06. Esquema tipo de remolcador de una hélice con tobera

*Remolcador de dos hélices.* Es el remolcador de hélices gemelas instaladas a popa accionadas por ejes horizontales, cuyas palas pueden ser de paso fijo o controlable, instaladas dentro de toberas o sin ellas. Para aumentar la maniobrabilidad se pueden instalar dos timones-tobera que proporcionan al remolcador una gran maniobrabilidad.

*Remolcador tipo tractor.* Es el remolcador que lleva el elemento propulsor en la parte de proa, del tipo Schottel o Voith-Schneider (Ver figuras 5.07 y 5.08). Debido a su especial maniobrabilidad, lleva el gancho de remolque a popa, lo cual evita que el remolcador pueda zozobrar al tirar de través. Sus características son:

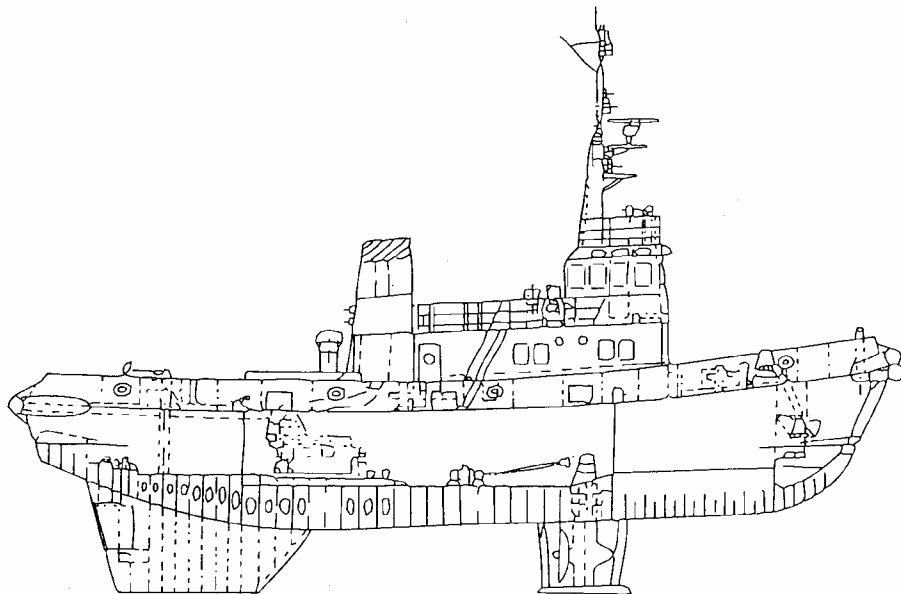
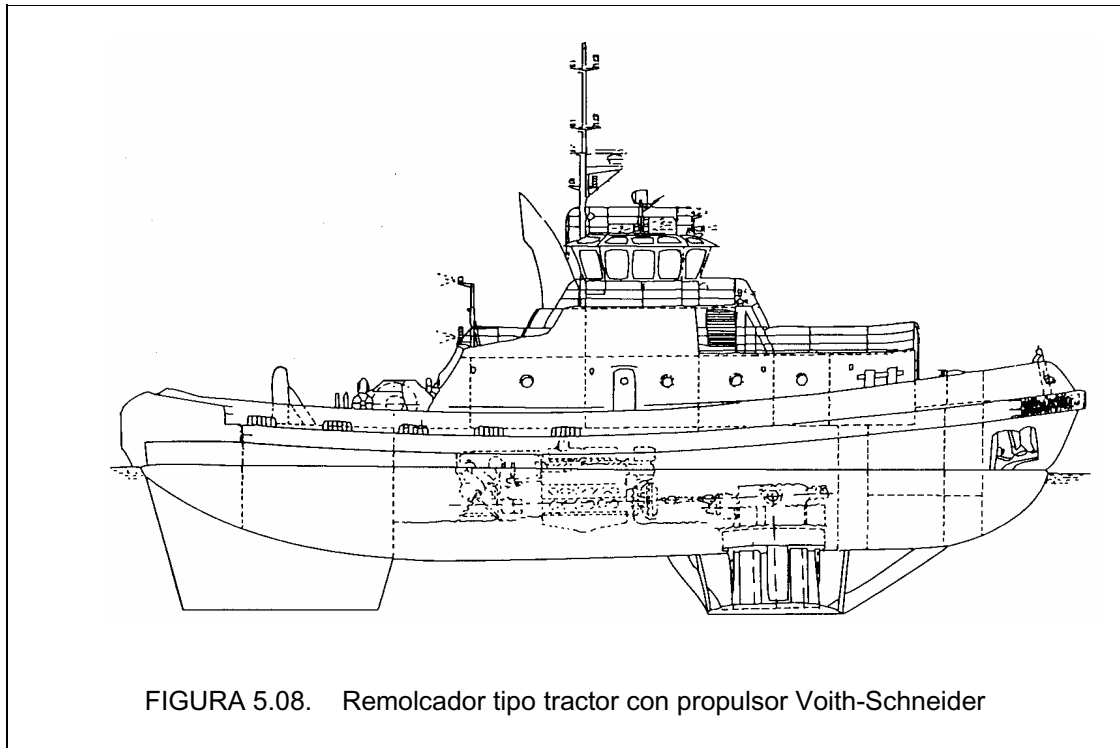


FIGURA 5.07. Remolcador tipo tractor con propulsor Schottel



- Es adecuado como remolcador de proa y de popa.
- Es adecuado para operaciones de empuje y tiro.
- Tiene gran maniobrabilidad, incluso en desplazamiento lateral.
- Tiene gran fuerza de tracción en todas las direcciones.

*Remolcador tipo «Z-peller».* Es un remolcador de propulsión a popa con hélices gemelas tipo Schottel con 360° de giro, que debido a su gran maniobrabilidad y tiro puede actuar como remolcador tipo tractor o para empuje y tiro.

La instalación de dos chigres de remolque, uno a proa y otro a popa, cerca de la bita de remolque principal, le aumenta su capacidad de acción en cualquier dirección. Sus características son:

- Es adecuado para remolcador de proa utilizando el chigre en la bita principal como remolcador convencional.
- Es adecuado como remolcador de popa engancho el remolque por el chigre delantero, operando como remolcador tipo tractor.
- Tiene elevada velocidad en marcha libre avante y atrás.
- Tiene gran maniobrabilidad tanto con remolque como sin él.
- Es adecuado para operaciones de tiro y empuje.

### 5.3.2. SISTEMAS DE GOBIERNO

Por lo que se refiere a los sistemas de gobierno (con independencia de los ya descritos al analizar los sistemas de propulsión: Sistemas Schottel y Voith-Schneider, etc.) la mayoría de los remolcadores están dotados de timones compensados y semicompensados, es decir con el borde de ataque prolongado hacia proa de la mecha del timón, con objeto de utilizar el flujo de forma más eficaz y hacer que el servomotor funcione con menos carga. La mayoría de los timones de los remolcadores están sobredimensionados en relación con los buques convencionales para favorecer la maniobrabilidad, lo que en general obliga a desarrollar codastes con talón para soportar el timón y, en su caso, la hélice.



Entre los sistemas de timones especiales desarrollados para los remolcadores pueden citarse los siguientes:

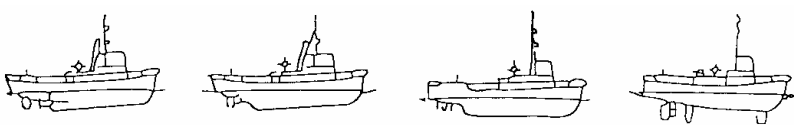
*Towmaster.* Este sistema de gobierno sitúa varios timones detrás de cada tobera, que pueden llegar a girar hasta 60° en cada banda, en lugar de los 35 ó 40° habituales. Esta cualidad permite una excelente maniobrabilidad en marcha avante; precisando como contrapartida un mayor calado a popa.

*Timón Kort.* Este sistema consiste en una tobera en cuyo interior se encuentra la hélice propulsora. La tobera está acoplada a la mecha del timón y gira accionada por el servomotor. Las ventajas de este sistema respecto a los convencionales son una mejora del rendimiento en marcha avante y una mayor maniobrabilidad marcha atrás. Como desventaja hay que señalar que la respuesta de este timón es más lenta que la de los timones convencionales.

*Timones laterales.* Estos timones auxiliares se instalan a proa y a cada banda de la hélice propulsora, proporcionando una mayor gobernabilidad en las maniobras marcha atrás. Estos timones se operan por controles separados y se mantienen a la vía en marcha avante. Normalmente se montan conjuntamente con toberas Kort.

*Dos hélices y un solo timón.* Este sistema de gobierno no es muy eficaz en maniobras dado que el flujo de las hélices no incide directamente sobre el timón al estar centrado entre ellas; sin embargo el sistema es eficaz en las operaciones de remolque con gancho.

*Doble timón y una hélice.* Este tipo de instalación se utiliza en remolcadores con hélice de paso variable, con objeto de mejorar las desfavorables características de gobierno que presentan estos remolcadores cuando se dispone un solo timón detrás de ella y la hélice está en paso cero.

<b>TABLA 5.1. CARACTERÍSTICAS COMPARADAS DE REMOLCADORES DE DOBLE HÉLICE</b>				
Tipo de propulsión	Hélice de paso variable y doble timón colgado	Hélice de paso variable y timón Kort	Propulsión Voith-Schneider	Propulsión Schottel
Configuración general				
				
Tamaño relativo del remolcado referido a la Eslora	Grande	Grande	Medio	Medio
Revoluciones (Rpm) aproximadas de la máquina	400	400	500-600	750
Tiempo requerido para una parada de emergencia, en segundos	39	20	18	10
Tiempo requerido para pasar de todo avante a todo atrás, en segundos	10	10	7	7.5
Arco sobre el que puede ejercerse la fuerza de gobierno, en segundos	70	70	360	360
Tiempo requerido para recorrer todo el arco de gobierno definido anteriormente, en segundos	15-30	15-30	15	15
Tiempo requerido para un giro de 360°, en segundos	65-70	45-50	35-45	20-25
Radio de giro en relación con la eslora (L) del Remolcador	3-5 L	1.5-2.0L	1.0-1.3L	1.0-1.3L

*Propulsor-gobierno.* En este caso la hélice hace las funciones de propulsión y gobierno, con lo que por tanto sustituye al timón. Corresponde por tanto a los sistemas hélice-timón (Schottel) y cicloidales (Voith-Schneider) ya descritos al analizar los propulsores.

**5.3.3.** La combinación de los diferentes sistemas compatibles de propulsión y gobierno descritos en los apartados anteriores, a los que se puede añadir la presencia de hélices transversales, produce una tipología muy variada de remolcadores. Con objeto de disponer de una información comparativa de las características de maniobrabilidad de los mismos se incluye la Tabla 5.1 en la que se recogen los datos de algunos de los tipos de remolcadores más habituales.

## **5.4. CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LOS REMOLCADORES**

Las principales características que debe tener un remolcador son las siguientes: maniobrabilidad, estabilidad y potencia.

### **5.4.1. MANIOBRABILIDAD**

La capacidad y facilidad de maniobra de un remolcador son fundamentales para el desarrollo de sus funciones más características, ya que en maniobras con grandes buques en espacios reducidos será necesario poder moverse en todas las direcciones. La maniobrabilidad de un remolcador depende de la forma del casco, para lo cual suele estar especialmente construido de forma hidrocónica a popa, o bien, de fondo plano a fin de que las corrientes de aspiración lleguen a las hélices sin turbulencias.

Los sistemas de propulsión y gobierno son elementos determinantes de la maniobrabilidad del remolcador, especialmente los sistemas combinados de propulsión -gobierno tipo Schottel o Voith-Schneider, que como ya se ha visto proporcionan una movilidad al remolcador en todas las direcciones. Otro factor que influye en la maniobrabilidad es la posición del gancho o chigre de remolque, que deberá estar muy cerca del centro de resistencia lateral o algo hacia popa de él.

Otro elemento que influirá en la maniobrabilidad es la capacidad que tenga el remolcador para pasar de una situación de avante toda a completamente parado. El tiempo de parada no deberá sobrepasar los 25 segundos.

### **5.4.2. ESTABILIDAD**

La curva de estabilidad estática para un remolcador debe ser positiva hasta los 60-70° con un brazo de estabilidad (distancia entre el metacentro y el centro de gravedad) de unos 60 cm, por lo que será necesario que las puertas de los alojamientos y entrada de la sala de máquinas sean estancas ante la posibilidad de alcanzar grandes escoras al tirar el cable de remolque en dirección del través. Los métodos por los que se puede mejorar la estabilidad estática de los remolcadores se basan en el incremento de la manga (los remolcadores actuales tienen relaciones eslora/manga inferiores a 3.0), en la reducción de la resistencia transversal del casco, en la reducción de la altura del gancho o punto de tiro y de la altura del punto de empuje y en la utilización de líneas de amarre o cabos de remolque con buenas características de absorción de cargas de impacto.

### **5.4.3. POTENCIA**

La potencia del remolcador deberá ser aquella que le permita acometer de una forma segura la función que tenga encomendada. Para las operaciones de transporte (arrastré o empuje de barcos, pontonas, plataformas, etc.) la potencia del remolcador deberá ser como mínimo la necesaria para remolcar o empujar un remolque de un determinado desplazamiento a una cierta velocidad mínima que le permita gobernar en las peores condiciones meteorológicas esperables durante el transporte. Esta potencia necesaria para lograr una determinada velocidad dependerá del rendimiento del motor propulsor, del rendimiento de la línea de ejes, del rendimiento de la hélice y del rendimiento del casco del remolcador y del remolcado.

La potencia requerida para el remolcador será la suma de la potencia necesaria para mover el remolque y el propio remolcador; de una manera aproximada se puede suponer que la potencia que necesita el remolcador para alcanzar una determinada velocidad es del 9 al 10% de la potencia total necesaria para efectuar el remolque; luego conociendo la potencia necesaria para mover el remolque se puede calcular aproximadamente la potencia que necesitará el remolcador para efectuar un determinado remolque.

Dentro del concepto de potencia del remolcador se debe resaltar el de tracción a punto fijo, valor que está más ligado con la determinación de la potencia necesaria de los remolcadores en el caso de las restantes funciones desarrolladas por ellos y especialmente con las maniobras a realizar con los buques en puertos y áreas restringidas.

#### 5.4.4. TRACCION A PUNTO FIJO (BOLLARD PULL)

Es la cantidad de fuerza horizontal que puede aplicar el remolcador trabajando avante en el supuesto de velocidad nula de desplazamiento, coincidiría por tanto con la tracción que el remolcador produciría en una amarra que le fijase a un bolardo fijo de un muelle.

La tracción a punto fijo depende del área de giro de la hélice, su paso, la potencia al freno y la potencia en el eje, además del desplazamiento, forma del casco y tipo de propulsor.

De una forma simplificada puede determinarse la tracción a punto fijo suministrada por un remolcador mediante la fórmula siguiente:

$$T_{PF} = K_{PF} \cdot \frac{W_R}{1000}$$

Siendo:

$T_{PF}$  = Tracción a punto fijo (toneladas)

$W_R$  = Potencia al freno del remolcador en CV

$K_{PF}$  = Coeficiente, dependiente de las características del remolcador. Para remolcadores en los rangos de 500-2000 CV y 2000-4000 CV, que son habituales en maniobras portuarias, pueden utilizarse los valores siguientes, en función del sistema de propulsión:

	500-2000 CV	2000-4000 CV
Hélices de paso fijo	10.0-11.0	9.0-10.0
Hélices de paso fijo con tobera	11.5-13.0	10.5-12.0
Hélices de paso variable	10.5-11.5	9.5-10.5
Hélices de paso variable con tobera	12.5-13.5	11.5-12.5
Hélices sistema Schottel	9.0-10.0	8.0-9.0
Hélices sistema Voith-Schneider	9.0-9.5	8.5-9.0

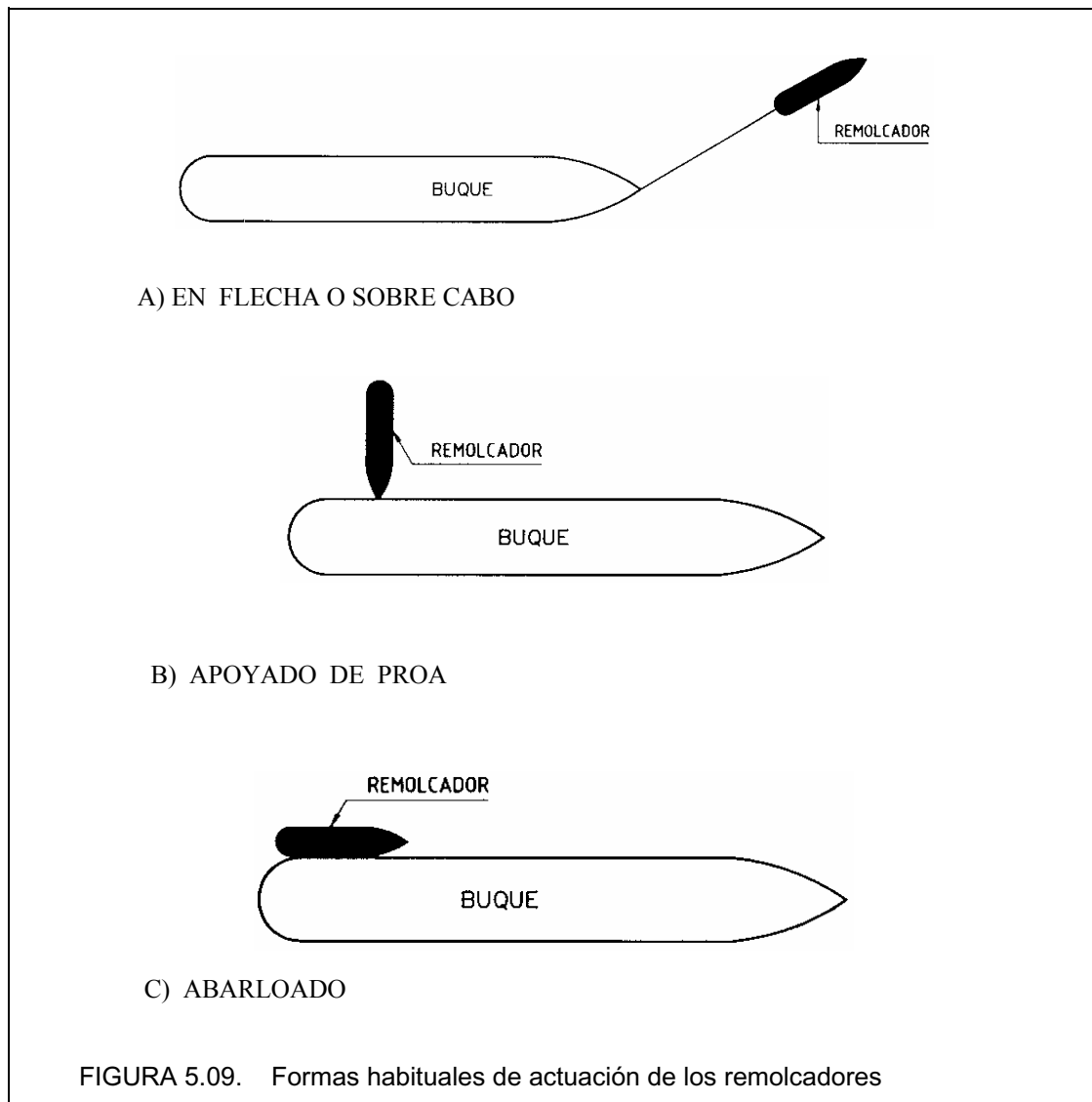
Conocida la tracción a punto fijo puede determinarse la tracción o el empuje avante suministrado a otras velocidades utilizando las curvas de la figura 5.5. Se recuerda que los empujes con el remolcador trabajando en otras direcciones distintas de avante pueden presentar reducciones muy significativas según sea e tipo de remolcador. Para determinar la potencia de los remolcadores necesarios para la realización de una determinada maniobra de ayuda a la navegación de un buque se seguirán los criterios recogidos en el apartado 5.7.

### 5.5. FORMAS DE ACTUACION DE LOS REMOLCADORES

La actuación de los remolcadores responde en general a uno de los tres métodos siguientes (ver fig. 5.09).

#### a) REMOLCADOR TRABAJANDO EN FLECHA O SOBRE CABO

En este procedimiento el remolcador trabaja separado del buque al que auxilia, tirando de él desde el extremo de un cabo, que puede estar fijado en diferentes puntos del buque realizando así diversas funciones (arrastre, retenida, etc.). Con este procedimiento se evi-



ta el contacto directo entre ambas embarcaciones y se asegura además que toda la potencia del remolcador se ejerce en la dirección del cabo. El inconveniente de este procedimiento es que se necesita mayor espacio de maniobra debido a la longitud del amarre, por lo que el sistema no puede utilizarse donde existan limitaciones de espacio. El efecto de un remolque en flecha es análogo al de una amarra con su punto de anclaje móvil y con un tiro de magnitud variable.

#### b) REMOLCADOR APOYADO DE PROA (TRABAJANDO DE CARNERO)

En este sistema el remolcador apoya su proa sobre el costado del buque al que auxilia y lo empuja en una dirección sensiblemente perpendicular a la crujía. Es habitual en este procedimiento que el remolcador quede fijado al buque con 1, 2 ó 3 cabos de amarre lo que permite evitar el deslizamiento relativo entre ambas embarcaciones durante la maniobra, y, además ejercer un tiro sobre el buque, en el supuesto de que se prevea la necesidad de este uso durante la maniobra, dando así mayor flexibilidad a la operación. Este procedimiento tiene menores requerimientos de espacio y permite cambiar con rapidez el sentido del empuje, si bien la eficacia del remolcador trabajando al tiro es menor que con el procedimiento anterior debido a la peor posición que pueden adoptar los cabos de amarre.

Como una variante de este sistema puede emplazarse el remolcador en la popa de determinadas embarcaciones (pontonas, barcazas, etc.) transmitiendo el empuje en sentido longitudinal, proporcionando así la potencia necesaria para el movimiento longitudinal de la que no disponen generalmente estas embarcaciones.

El efecto de un remolcador apoyado a proa puede asimilarse al de una amarra que trabajase en ambas direcciones, con su punto de aplicación móvil y con un tiro de magnitud variable, si bien será necesario considerar las posibles cargas de rozamiento en el supuesto de trabajar al empuje.

### c) REMOLCADOR ABARLOADO

En este procedimiento el remolcador se sitúa al costado del buque y sensiblemente paralelo a él, quedando amarrado al barco por mediación de varios cabos, que aseguran la transmisión de esfuerzos. Este procedimiento se utiliza generalmente para maniobrar buques que no cuentan con propulsión suficiente, en lugares de poco espacio y en aguas muy tranquilas.

El remolcador se sitúa generalmente en la aleta del buque a auxiliar de modo que los timones de ambas embarcaciones estén a la misma altura para favorecer las condiciones evolutivas del conjunto. El remolcador abarloado produce por tanto el mismo efecto que si el buque remolcado tuviera dos hélices, una de ellas muy separada de crujía. En casos de buques muy sensibles a la acción del viento y otras cargas transversales, es habitual disponer de dos remolcadores abarloados, cada uno situado en una banda, con lo cual se consigue un mayor control de la navegabilidad.

Según cual sea el sistema de trabajo elegido se modifica la posición relativa del remolcador y el buque, afectando al régimen hidráulico del flujo de agua alrededor de ambas embarcaciones y en el entorno de sus hélices, provocando efectos secundarios, cuyo análisis excede del alcance de esta Recomendación.

## 5.6. ACCION DE LOS REMOLCADORES

La acción de cada uno de los remolcadores que actúan sobre un buque puede simplificarse en una fuerza horizontal resultante  $F_{Ri}$ , de intensidad variable y que puede ser aplicada con una excentricidad importante con respecto al centro de gravedad del buque para conseguir los mayores efectos evolutivos (ver fig. 5.10). Cada una de estas fuerzas podría descomponerse en los siguientes efectos parciales:

- Una componente  $F_{LRi}$  en el sentido longitudinal del buque, que produce movimientos de avance o frenada del buque según el sentido en que esté aplicada.
- Una componente  $F_{TRi}$  en el sentido transversal del buque, que produce movimientos de deriva.
- Un Momento resultante  $M_{TRi}$  debido la excentricidad de la fuerza en relación con el centro de gravedad del buque, que produce movimientos de guiñada.

En función de la maniobra que se pretenda realizar, la acción de los remolcadores irá dirigida a conseguir los efectos más favorables para cada caso (mayor componente longitudinal en el caso de un remolque, mayor componente transversal en el caso de compensación de una deriva, mayor momento evolutivo en caso de un reviro, etc.).

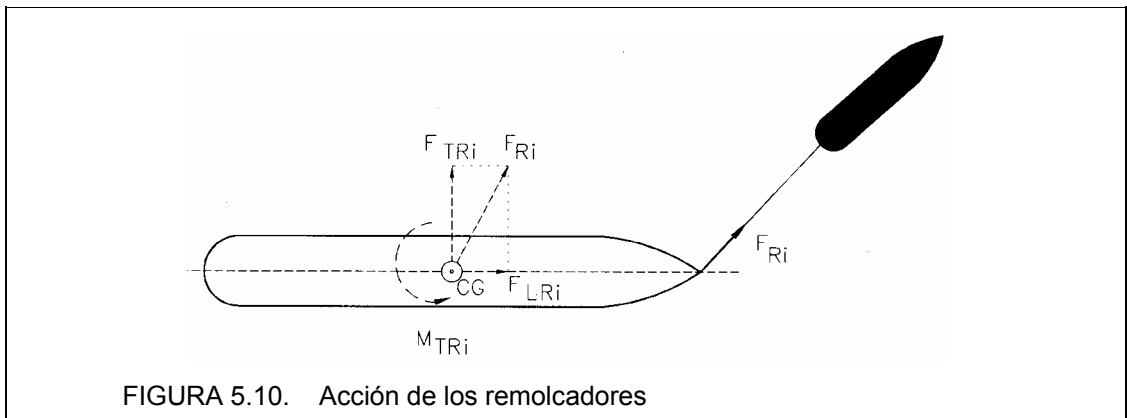


FIGURA 5.10. Acción de los remolcadores

En el supuesto de que intervengan varios remolcadores en la maniobra la actuación de cada uno de ellos se establecerá de manera coordinada de manera que se potencien los efectos favorables que se quiera conseguir y se compensen o minoren los desfavorables.

Adicionalmente a estos esfuerzos principales podrían considerarse la componente en el sentido vertical del buque y los dos momentos sobre los ejes longitudinal y transversal del buque, cuyo efecto pudiera ser necesario tomar en consideración para determinar los sobrecargos del buque debido a la acción de los remolcadores, y que generalmente no se consideran (salvo en el propio remolcador o en barcos de pequeño porte) debido a su reducida importancia.

## **5.7. DETERMINACION DE LAS NECESIDADES DE REMOLCADORES**

**5.7.1.** La determinación de las necesidades de remolcadores para la realización de una maniobra correcta depende de un gran número de factores entre los que pueden citarse:

- Las características del área en las que va a desarrollarse la maniobra.
- Las condiciones climáticas existentes.
- El tipo de buque y sus condiciones de maniobrabilidad.
- El tipo de maniobra a realizar y la forma de actuación de los remolcadores en condiciones de seguridad.
- La flota de remolcadores disponibles.
- La experiencia de los maniobristas que intervengan en la operación.
- La prestación de servicios complementarios a la propia maniobra.
- Las condiciones económicas que regulen la intervención de los remolcadores.

En el supuesto de que se quisiera determinar la flota de remolcadores necesaria para un puerto o una instalación compleja que integrase diferentes Areas de Navegación, Flotación o Maniobras sería necesario efectuar estudios de demanda, simultaneidad de operaciones, etc., cuyo análisis excede del alcance de esta ROM.

**5.7.2.** Dejando al margen las operaciones puras de remolque que ya se comentaron en el apartado 5.4.3, la asistencia de remolcadores en la llegada o partida de un buque a una instalación portuaria comprende normalmente tres fases:

- La fase en la que el buque mantiene una velocidad apreciable en la que puede mantener un adecuado control de la navegación con sus medios propios (hélices, timones, etc.). En esta fase la asistencia de remolcadores puede ser necesaria, con unos requerimientos que en general no demandarán una potencia o tracción a punto fijo excesiva, pero si unas condiciones específicas de navegabilidad y eficiencia para poder asistir a un buque en movimiento.
- La fase intermedia en la que el buque reduce su velocidad para aproximarse a un área de maniobra, dársena, muelle, etc. y en la que el buque está realizando parte de su proceso de parada. Durante esta fase el buque reduce su velocidad y en consecuencia disminuye la eficacia de sus medios propios, en consecuencia la influencia de los agentes externos (vientos, oleajes, corrientes, etc.) se queda descompensada y es necesario recurrir a la asistencia de remolcadores más frecuentemente y en actuaciones más prolongadas.
- La fase final en la que se realizan las maniobras últimas de aproximación, reviro y atraque o el proceso contrario de inicio de la salida. Durante esta fase el buque está casi sin velocidad con lo cual la posibilidad de utilizar sus medios propios en el control de las acciones externas es prácticamente nula y por tanto se precisa una ayuda más importante por parte de los remolcadores.

La demanda de remolcadores, al menos para buques sensibles a la acción de los vientos, oleajes y corrientes, suele venir determinada por esta última fase en la que se cuantifi-

can las mayores exigencias de tracción a punto fijo. En esta última fase en la que el buque se mueve a velocidad reducida es donde las hélices transversales del barco actúan con mayor eficacia, por lo que deberán ser tomadas en consideración a efectos de cuantificar las necesidades de tracción a punto fijo que deben ser proporcionadas por los remolcadores.

**5.7.3.** El procedimiento general de dimensionamiento de las necesidades de remolcadores se basa en que las fuerzas proporcionadas por éstos (más las hélices transversales del buque en su caso), serán capaces de equilibrar las fuerzas exteriores y las inerciales o residuales del propio barco, manteniendo un margen de seguridad adecuado para que el buque pueda permanecer controlado en todo momento. Este criterio general puede tener una hipótesis alternativa en la que se admita que las fuerzas de los remolcadores no sean capaces de equilibrar todas las fuerzas exteriores y las inerciales o residuales del propio buque, quedando cargas desequilibradas que producirán movimientos del barco (avances o retrocesos, derivas y guiñadas), para los cuales deberá haber reservas de espacio en cuantía suficiente para las condiciones más desfavorables que pudieran presentarse; en cualquier caso se recomienda que este procedimiento no se utilice cuando los movimientos del buque puedan producirse hacia zonas sin calado suficiente, muelles u otras instalaciones fijas o buques parados o en movimiento dada la gravedad que podría tener un accidente en estos casos.

Los supuestos que habitualmente suelen presentarse pueden resolverse con los casos siguientes o con una combinación de los mismos:

a) **MANTENIMIENTO EN POSICION DE UN BUQUE SOMETIDO A CARGAS CLIMÁTICAS**

Las fuerzas exteriores proporcionadas por los remolcadores (más las hélices transversales de maniobra en su caso) deberán equilibrar la resultante (fuerzas y momentos) de las cargas sobre el barco correspondientes a la acción de los vientos, oleajes y corrientes que se hayan establecido como condiciones límite de operación para la maniobra que se considere, siguiendo los criterios que se establecen en el Capítulo IV. Sobre las cargas así obtenidas se aplicará un coeficiente de seguridad de valor 1,25. Para pasar de estas fuerzas exteriores que deben ser proporcionadas por los remolcadores, a requerimientos concretos en términos de tracción a punto fijo, se tomarán en consideración las correcciones que cuantifican la pérdida de eficacia del remolcador en función de la velocidad y del ángulo de empuje o tiro en relación con la dirección de marcha avante de cada remolcador que se considere. Se hace notar que en el caso de que la configuración del buque y las acciones exteriores ocasionen unos momentos desequilibrados importantes, las fuerzas exteriores a ser proporcionadas por los remolcadores no serán iguales en proa que en popa, lo que aconsejará emplazar los remolcadores disponibles del modo más idóneo para equilibrar estos esfuerzos y con la mayor excentricidad posible con respecto al centro de gravedad del buque para conseguir la mayor eficacia en la absorción de estos esfuerzos. Por lo que se refiere a la conveniencia de disponer los remolcadores trabajando en flecha, de proa o incluso abarloados (de haber muchas fuerzas longitudinales desequilibradas) se estará en general al espacio disponible y a lo que mejor resulte para las maniobras siguientes que haya que efectuarse con posterioridad a ésta, ya sea un reviro, una traslación hacia un muelle que admita o no la navegación de remolcadores por detrás de la línea de atraque, etc.

b) **REVIRO DE UN BUQUE PARADO NO SOMETIDO A CARGAS CLIMATICAS**

Las fuerzas exteriores proporcionadas por los remolcadores (más las hélices transversales de maniobra en su caso) deberán equilibrar las fuerzas y momentos debidos a la velocidad de la corriente relativa al buque que se genera a consecuencia del propio reviro. La acción de la corriente se determinará con los criterios establecidos en el Capítulo VI suponiendo que los coeficientes de forma se mantienen para una distribución lineal de la velocidad relativa de la corriente con respecto al buque, y que el reviro se efectúa en un tiempo máximo de 20 minutos para un giro de 180°. Sobre las cargas así obtenidas se aplicará un coeficiente de seguridad de valor 1,25. Las ecuaciones de equilibrio se determinarán suponiendo que el reviro se produce a velocidad uniforme, despreciando por tanto las fases de aceleración y desaceleración del movimiento; la formulación matemática resultante dependerá del número de remolcadores utilizado y de la forma en que se dispongan. Para pasar de estas fuerzas exteriores que deben ser proporcionadas por los remolcadores a requerimientos concretos en términos de tracción a punto fijo, se tomarán en consideración las correcciones que cuantifiquen la pérdida de eficacia del remolcador en función de la velocidad y del ángulo de empuje o tiro en relación con la dirección de marcha avante de cada remolcador que se considere.

c) MOVIMIENTO TRANSVERSAL DE UN BUQUE NO SOMETIDO  
A CARGAS CLIMATICAS

En este supuesto que corresponde a la fase final más habitual de aproximación a un muelle se supondrá que la energía cinética del buque debido a velocidad transversal inicial (incluyendo la masa añadida del agua) se absorbe íntegramente por el trabajo de las fuerzas exteriores proporcionadas por los remolcadores y las hélices transversales de maniobra en su caso, actuando uniformemente sobre el espacio disponible para la parada del buque, que, en cualquier caso no se tomará con un valor superior a una manga del barco que maniobra. Sobre las cargas así obtenidas se aplicará un coeficiente de seguridad de valor 1,25. Para pasar de estas fuerzas exteriores que deben ser proporcionadas por los remolcadores a requerimientos concretos en términos de tracción a punto fijo, se tomarán en consideración las correcciones que cuantifiquen la pérdida de eficacia del remolcador en función de la velocidad y del ángulo de empuje o tiro en relación con la dirección de marcha adelante de cada remolcador que se considere.

**5.7.4.** Como puede deducirse del procedimiento anterior, el cálculo de las necesidades de remolque no es un proceso unívoco que conduzca siempre a una misma solución; ni siquiera conocidos los requerimientos globales expresados en términos de tracción a punto fijo puede llegarse a una determinación invariable del número y potencia de remolcadores a utilizar en cada caso. El procedimiento sin embargo si es objetivable y en cada caso concreto puede plasmarse en unas Normas de Operación que asignen remolcadores según tipo de buques en función del tipo de maniobra a realizar, de los remolcadores disponibles, y de las condiciones climáticas límites de operación que se establezcan para cada caso o para cada intervalo de buques/condiciones climáticas en el supuesto de que se desee establecer una mayor flexibilidad al respecto.

En el supuesto de que el buque cuente con hélices transversales podrá considerarse su efecto en la compensación de la resultante de las acciones externas sobre el buque, disminuyendo así los requerimientos de remolcadores.

## 5.8. ELEMENTOS DE REMOLQUE

Cada tipo de remolcador irá equipado con los elementos necesarios para desarrollar con normalidad su trabajo. Unos van fijos en cubierta, tales como: chigre de remolque, gancho de remolque, bitas en «H» y bitas normales, y otros formarán el material necesario para dar el remolque como: cable de remolque, pies de gallo, triángulo, cable de seguridad, cabos mensajeros y guías. Por tanto, cada remolcador, de acuerdo con su potencia de tiro y tracción a punto fijo, deberá tener dichos elementos con la resistencia necesaria que permita efectuar el remolque con seguridad. A continuación se describen brevemente los elementos más importantes de los citados anteriormente, por lo que se refiere a las operaciones objeto de esta ROM.

*Chigre de remolque.* Consiste en una máquina hidráulica provista de uno o dos tambores donde se guarne el cable de remolque. El sistema puede ser automático de tensión o longitud constante, o no automático. El chigre de tensión constante mantiene en todo momento el cable en la tensión programada, desvirando cuando entra en excesiva fuerza y virando cuando queda en banda; de esta manera, una vez fijada la longitud del cable del remolque o la tensión máxima, automáticamente se mantendrán estos valores. El chigre de remolque no automático es de accionamiento manual y requiere regular la distancia manualmente y estar atento a que no trabaje en exceso.

El chigre de remolque debe instalarse lo más bajo posible para no disminuir la estabilidad y a ser posible coincidiendo con el centro de resistencia lateral para facilitar la maniobrabilidad del remolcador.

La desventaja del chigre de remolque es que no es posible pasar de la situación de remolque hacia adelante a hacia atrás, especialmente en maniobras en lugares estrechos.

*Bitas.* En cubierta deber haber las suficientes bitas para hacer firmes los cabos de remolque y colocadas en los lugares apropiados para ser usadas en diversos tipos de remolques, ya sea por la popa, por la proa o abarloado.

*Gancho de remolque.* Consiste en un gancho de construcción especial que permite desenganchar el cable de remolque automáticamente desde el puente. La situación del gancho debe ser coincidiendo con el centro de resistencia lateral o algo hacia popa del



mismo, dependiendo del sistema propulsor, con el fin de dar a máxima maniobrabilidad al remolcador; su altura será la mínima para evitar una pérdida de estabilidad del remolcador.

*Cable de remolque.* Cable o cabo de remolque es el cable o cabo que se emplea para arrastrar el remolcado. Puede ser metálico, de fibra natural y de fibra sintética tales como: nylon, polipropileno, dracOn, etc. El cable de remolque se emplea para remolques largos, costeros y oceánicos, en los cuales se requiere mucha longitud y gran resistencia. El cable convencional de remolque puede ser de 5 a 6 cm de diámetro y de más de 600 m de longitud y va enrollado en el tambor del chigre de remolque.



## **PARTE 6**

# **NAVEGACION Y MANIOBRAS DE BUQUES**

---



## PARTE 6

## NAVEGACION Y MANIOBRAS DE BUQUES

### Indice

<b>6.1. INTRODUCCION</b> .....	173
<b>6.2. CURVAS EVOLUTIVAS</b> .....	173
6.2.1. DEFINICION Y ESTUDIO ELEMENTAL DEL MOVIMIENTO DEL BUQUE .....	173
6.2.2. ANGULO DE DERIVA Y PUNTO GIRATORIO .....	175
6.2.3. CARACTERISTICAS DE LA CURVA EVOLUTIVA .....	176
6.2.4. VARIACION DE PARAMETROS DE NAVEGACION RELACIONADOS CON LA CURVA EVOLUTIVA .....	178
6.2.5. DETERMINACION DE LAS CURVAS EVOLUTIVAS DE UN BUQUE .....	181
<b>6.3. EXTINCION NATURAL Y FORZADA DE LA ARRANCADA DEL BUQUE (PARADA DEL BUQUE)</b> .....	185
6.3.1. DEFINICION Y FACTORES QUE INFLUYEN .....	185
6.3.2. EVALUACION DE LAS DISTANCIAS DE PARADA .....	188
<b>6.4. ESTUDIOS DE MANIOBRAS</b> .....	189



6.01.	Esquema de fuerzas que actúan en la evolución de un buque .....	174
6.02.	Trayectoria del buque en evolución .....	176
6.03.	Forma típica de una curva evolutiva .....	177
6.04.	Efecto del viento de proa sobre la curva evolutiva .....	180
6.05.	Efecto de la corriente sobre la curva evolutiva .....	181
6.06.	Avance de la curva evolutiva para un cambio de rumbo de 90°. Buques a plena carga en profundidades de agua $\geq 5$ x calado del buque .....	182
6.07.	Desviación lateral de la curva evolutiva para un cambio de rumbo de 90°. Buques a plena carga en profundidades de agua $\geq 5$ x calado del buque .....	183
6.08.	Diámetro del círculo de rotación para buques a plena carga. Buques a plena carga en profundidades de agua $\geq 5$ x calado del buque .....	184
6.09.	Curvas evolutivas típicas .....	185
6.10.	Esquema de fuerzas que actúan en la extinción forzada de la arrancada de un buque .....	186





### 6.1. INTRODUCCION

A lo largo de los tres capítulos anteriores se ha analizado el buque y las fuerzas que pueden actuar sobre él, ya sean internas o externas, dependientes o independientes de la voluntad del maniobrista. Conocidas estas fuerzas y las propias características del buque, el análisis de sus movimientos y de los espacios ocupados es un problema abordable por los procedimientos de la física general; sin embargo, aunque las ecuaciones generales del movimiento pueden ser planteadas sin dificultad, la resolución de estas ecuaciones y la determinación de estas trayectorias y espacios ocupados viene dificultada por dos aspectos prácticos:

- Por una parte muchas de las fuerzas que intervienen en el cálculo son variables en función de múltiples condiciones (profundidad de agua, estado del mar, clima marítimo, orientación del buque, etc.).
- Por otra parte gran número de fuerzas dependen de la voluntad del maniobrista, quien puede hacerlas cambiar continuamente del modo que estime más favorable para la navegación o maniobra que esté desarrollando.

Con estos supuestos el estudio teórico de la trayectoria o movimientos del buque queda limitado a unos cuantos casos singulares normalizados que sirven para medir la capacidad de gobierno de un buque y que deben ser contrastados por medio de curvas experimentales realizadas para cada barco, que han de estar disponibles para su consulta en el puente de mando, según las disposiciones de la Organización Marítima Internacional. De estas maniobras son de interés para las Areas de Navegación y Flotación objeto de esta ROM las Curvas Evolutivas y las Maniobras de Parada (o Extinción de la Arrancada), cuyo análisis se recoge en este capítulo.

Por lo que se refiere a maniobras no normalizadas en las que intervienen decisivamente la voluntad del maniobrista no tiene gran interés un estudio teórico de las mismas y habitualmente se recurre al análisis estadístico de espacios ocupados, ya sea por medición real, en modelo físico o con simulador para conocer los requerimientos exigidos por el buque en sus movimientos. Las maniobras de este tipo que pueden contemplarse son infinitas si bien existe un conjunto de ellas que son las más habituales y cuyo conocimiento contribuye a formar un criterio con el que podrían analizarse otras no contempladas. En la presente ROM se ha optado por recoger estas maniobras más habituales en un Anejo I, en el convencimiento de que su conocimiento podrá contribuir a entender porque se especifican posteriormente en los capítulos VII y VIII determinados requerimientos de espacio; este conocimiento será imprescindible si se recurre al uso de simuladores o ensayos en modelo en los que precisamente deberán ensayarse este tipo de maniobras u otras similares.

### 6.2. CURVAS EVOLUTIVAS

#### 6.2.1. DEFINICION Y ESTUDIO ELEMENTAL DEL MOVIMIENTO DEL BUQUE

En general se llama curva evolutiva o curva de evolución a la trayectoria descrita por el centro de gravedad de un buque cuando se le hace girar manteniendo un régimen de máquinas y un ángulo de timón constante. Las representaciones gráficas de esas curvas para diferentes velocidades y ángulos de timón se llaman diagramas evolutivos y dan una excelente visión de conjunto sobre el comportamiento del buque, permitiendo al maniobrista prever la trayectoria que seguirá el buque en las condiciones concretas en que se encuentre.

Para analizar este movimiento del buque deben contemplarse tres fases, que se presentan consecutivamente desde el inicio de la operación, denominadas, de maniobra, variable y uniforme. La fase de maniobra comprende desde el instante en que se empieza a

meter el timón hasta que la pala llega a alcanzar el ángulo deseado. La fase variable es aquella en la que el ángulo del timón permanece constante pero no se ha alcanzado el equilibrio dinámico entre todas las fuerzas que actúan sobre el buque y por tanto el movimiento del barco es variable. Finalmente la fase uniforme es la que se produce a partir del momento en que se alcanza dicho equilibrio y dura mientras no se alteren las condiciones de máquinas y timón en las que se desarrolla la evolución.

El análisis de las fuerzas que se generan sobre el buque y de sus efectos durante las tres fases se recoge esquemáticamente en la figura 6.01. Antes de iniciar la fase de maniobra las únicas fuerzas que actúan son el empuje del propulsor « $T_p$ » y la resistencia al avance « $R_a$ »; si el movimiento es rectilíneo y uniforme ambas fuerzas están situadas en el plano de crujía y son iguales y de sentido contrario (posición 1 de la figura 6.01).

En cuanto se inicia la fase de maniobra y se empieza a meter el timón (posición 2) aparece la fuerza « $P_T$ » perpendicular a su pala, que ocasiona el momento evolutivo sobre el buque haciéndole caer a la banda correspondiente con un ángulo de deriva « $\beta$ » con respecto a la trayectoria, aunque, debido a la inercia, en los primeros instantes el buque continuará manteniendo su plano de crujía en la dirección inicial; además del efecto anterior, la descomposición de la fuerza « $P_T$ » en sentido longitudinal y transversal al buque, produce una fuerza opuesta a la propulsora que disminuye la velocidad del barco y una componente transversal que hace abatir al buque hacia la banda contraria a la que se ha mantenido el timón.

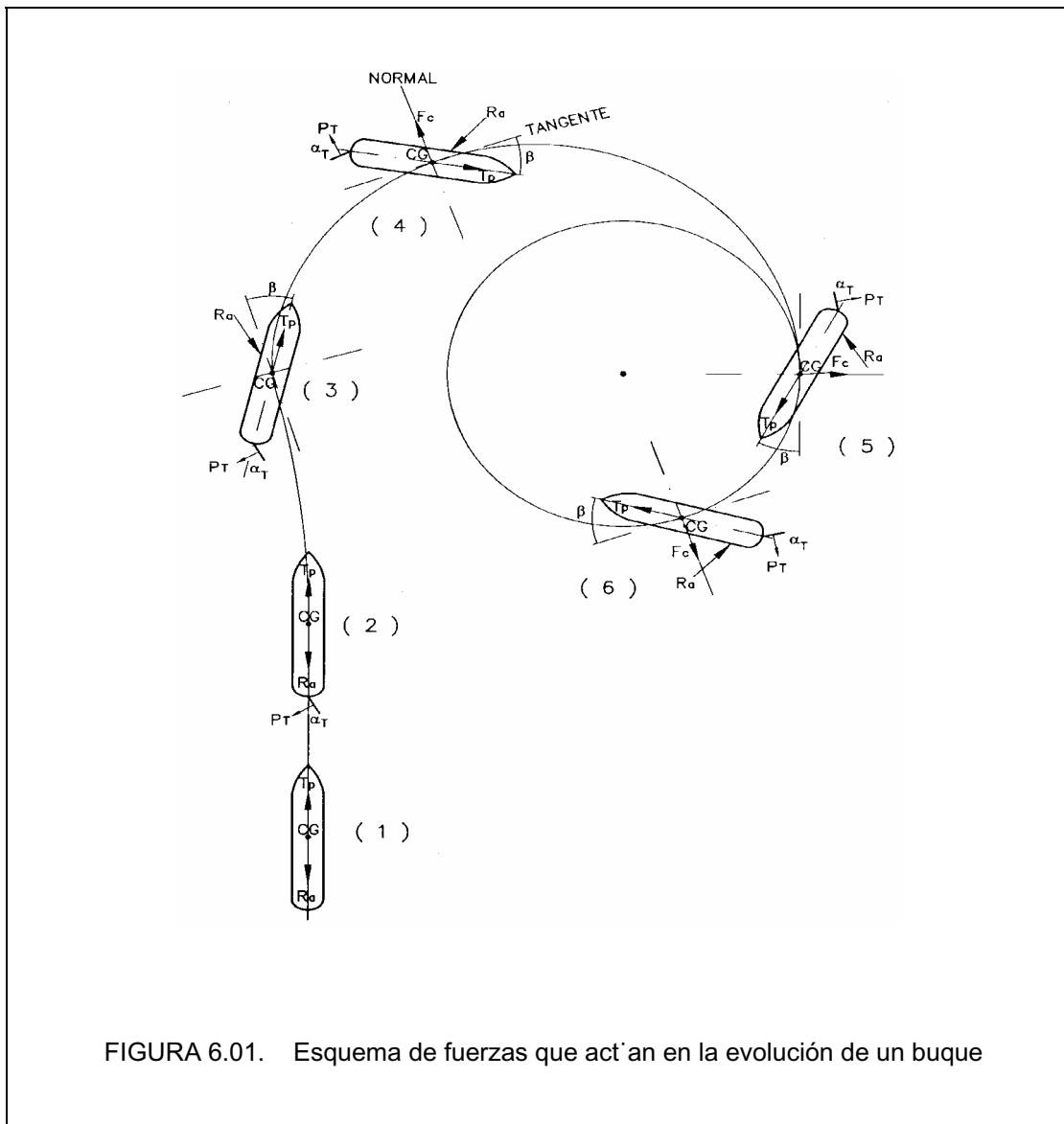


FIGURA 6.01. Esquema de fuerzas que actúan en la evolución de un buque

La fase de maniobra continúa desarrollándose según va aumentando el ángulo del timón (posiciones 3 y 4) hasta alcanzar el ángulo deseado que es la posición reflejada como «4» en la figura 6.01. Durante esta etapa las fuerzas actuantes son el empuje del propulsor « $T_p$ », la resistencia al avance « $R_a$ », la fuerza en la pala del timón « $P_T$ » y la fuerza centrífuga « $F_c$ » que actuará según la normal a la trayectoria. De estas fuerzas conviene destacar que la Resistencia al avance deja de estar situada en el plano de crujía ya que debido a la deriva « $\beta$ » con que navega el buque, la resistencia al avance no es simétrica en ambas bandas, produciéndose un desplazamiento progresivo del punto de aplicación de « $R_a$ » hacia popa dado que los elementos de la carena que ofrecerán mayor resistencia serán los más alejados del centro instantáneo de rotación en los que la velocidad es mayor. El establecimiento de las condiciones de equilibrio de este sistema de fuerzas permitirá deducir las ecuaciones del movimiento. La posición «3» de la figura 6.01 representa el instante en que las componentes de « $T_p$ », « $R_a$ » y « $P_T$ » según la normal a la trayectoria se equilibran entre si y por tanto la fuerza centrífuga « $F_c$ » es nula, lo que equivale a decir que el radio de curvatura es infinito y es por tanto el punto de inflexión de la trayectoria.

La fase variable se desarrolla desde la posición «4» en la que el ángulo del timón ha alcanzado su valor deseado hasta la posición «5» en la que se alcanza el equilibrio dinámico de todas las fuerzas. El sistema de fuerzas existente en esta fase es el mismo descrito en la etapa anterior, con la particularidad de que la carga sobre el timón « $P_T$ » y el momento evolutivo correspondiente han alcanzado su valor máximo y no pueden crecer más, con lo cual necesariamente llegará un instante en el que se equilibren los momentos ocasionados por la carga en el timón « $P_T$ » y la resistencia al avance « $R_a$ », resultando una aceleración angular del plano de crujía nula o lo que es lo mismo una velocidad angular constante de dicho plano de crujía. Al mismo tiempo que sucede esto, al alcanzarse el equilibrio entre todas las fuerzas longitudinales, la aceleración longitudinal del centro de gravedad del buque será también nula y la velocidad de traslación, por tanto, constante. Finalmente, el equilibrio de las fuerzas transversales obliga a que la fuerza centrífuga sea constante, y como la velocidad de traslación también lo es, resulta que el radio de curvatura de la trayectoria permanece también constante, convirtiéndose ésta en un círculo, con lo cual toda la fase uniforme esquematizada en la posición (6) de la figura 6.01 se convierte en un movimiento circular con velocidad uniforme y ángulo de deriva fijo.

### 6.2.2. ANGULO DE DERIVA Y PUNTO GIRATORIO

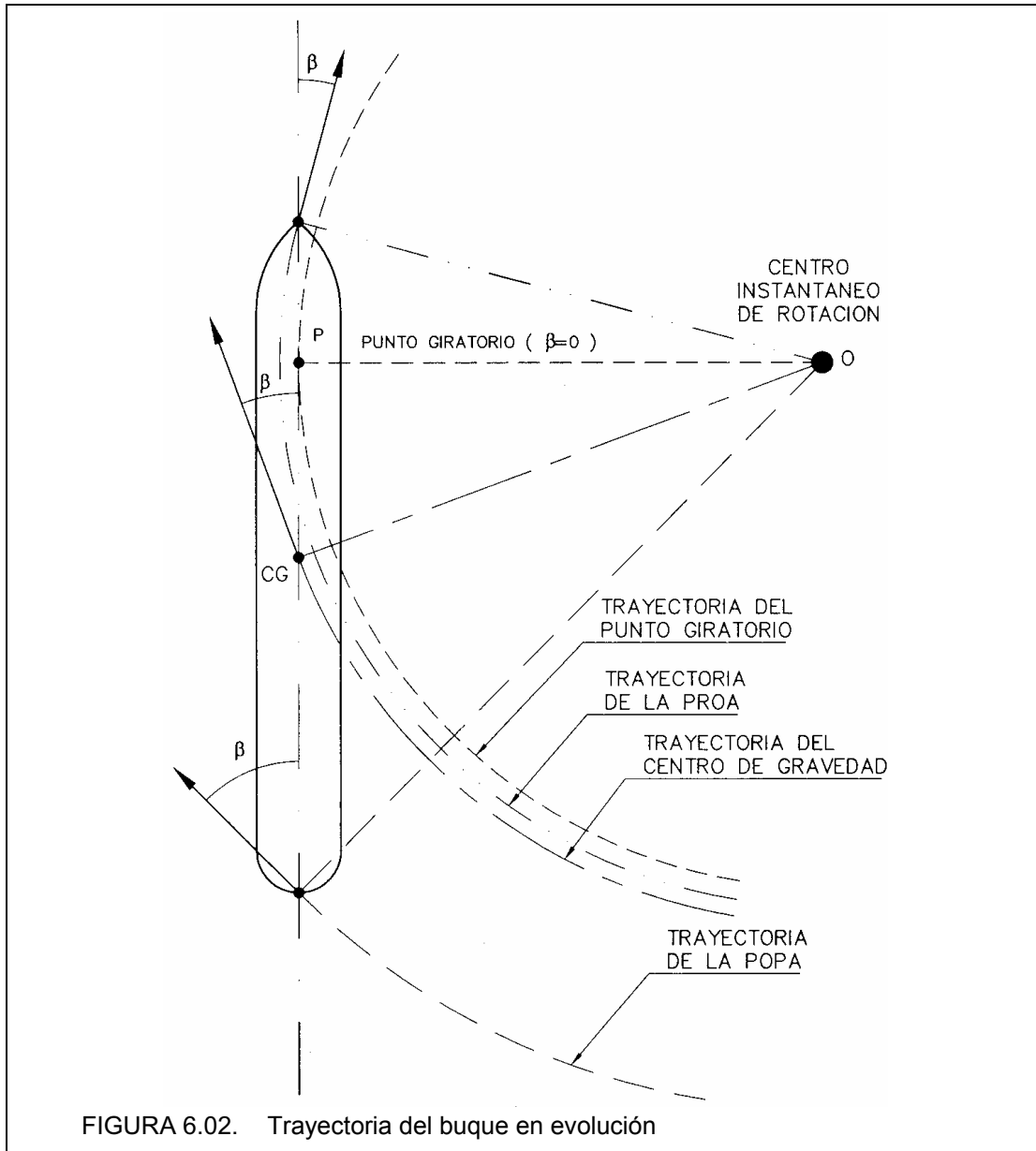
Si se consideran las distintas trayectorias descritas por diferentes puntos de un buque en plena evolución (ver figura 6.02) se ve que cada uno de ellos sigue una curva prácticamente concéntrica con la trayectoria recorrida por el centro de gravedad CG.

El ángulo formado por la dirección de la quilla con la tangente geométrica a la trayectoria descrita por cualquier punto del plano de crujía del buque se llama ángulo de deriva de dicho punto en el instante considerado. Este ángulo tiene el máximo valor en la popa, disminuyendo gradualmente a medida que se desplaza hacia proa, llega un momento en que se anula (al alcanzarse una posición P más cercana a la proa que a la popa), y después va creciendo progresivamente hasta la roda, pero en este último tramo tiene sentido opuesto, pues la tangente cae en la proa a estribor de crujía y en la popa lo hacía a la banda contraria. El ángulo de deriva depende de muchos factores: forma de la obra viva, características del timón, tipo, tamaño y velocidad del buque, dirección e intensidad del viento, etc. En el caso particular de un buque determinado y a igualdad de otras condiciones, varía según el ángulo de timón aplicado durante la evolución.

Volviendo a la figura 6.02, al punto P de la crujía donde el ángulo de deriva es nulo se le llama punto giratorio o punto pivote del buque, y se caracteriza, de acuerdo con lo antes expuesto, porque en él la dirección de la quilla coincide con la tangente geométrica a la trayectoria, o sea, que allí el eje longitudinal del buque es perpendicular al radio de curvatura PO de la trayectoria evolutiva, siendo O el correspondiente centro instantáneo de rotación. Esto significa también que el punto giratorio es aquél en que el vector velocidad está dirigido en todo momento según el plano de crujía.

El punto giratorio es el centro de rotación aparente sobre el cual gira el buque al hacerlo virar con timón, y un observador ubicado en esa posición, verá que la proa cae hacia el interior de la trayectoria y que la popa lo hace en sentido contrario durante una evolución.

El punto pivote no tiene una posición fija sino que se desplaza sobre la línea de crujía, hacia proa o hacia popa, y su ubicación está influenciada por los mismos factores que afectan al ángulo de deriva, especialmente por la forma de la carena. Para un cierto buque depende más de la velocidad instantánea del mismo que del ángulo de timón aplicado. A efectos prácticos es conveniente establecer una posición aproximada del punto giratorio.



En los buques grandes con cascos de forma convencional (graneleros, mercantes, portaaviones, petroleros, etc.), su ubicación promedio se encuentra a un tercio ( $1/3$ ) de eslora de la proa. En buques más rápidos (ferríes, transbordadores, etc.) puede estar aún más adelante, a  $1/6$  de eslora de la roda y en embarcaciones muy rápidas y livianas el punto giratorio puede incluso llegar a ocupar una posición por delante de la proa cuando giran a alta velocidad.

Para buques en movimiento con arrancada hacia atrás el punto giratorio se desplaza hacia popa, y normalmente se ubica en una posición más cercana a la popa que a la proa. Por otra parte, el asiento también influye sobre el punto giratorio, desplazándose éste hacia proa o popa cuando el buque está más aproado o aporado, respectivamente. En cierta medida también se desplaza algo hacia proa cuando el buque está en lastre, y hacia popa cuando está muy cargado.

### 6.2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA CURVA EVOLUTIVA

Resumiendo lo expuesto en el apartado anterior, puede concluirse que la curva evolutiva es la trayectoria descrita por el centro de gravedad del buque cuando al barco se le hace caer con ángulo de timón constante.

La figura 6.03 representa la forma típica de una curva evolutiva cuando no existen vientos, oleajes ni corrientes, y en ella se aprecia que, como ocurre normalmente, luego de

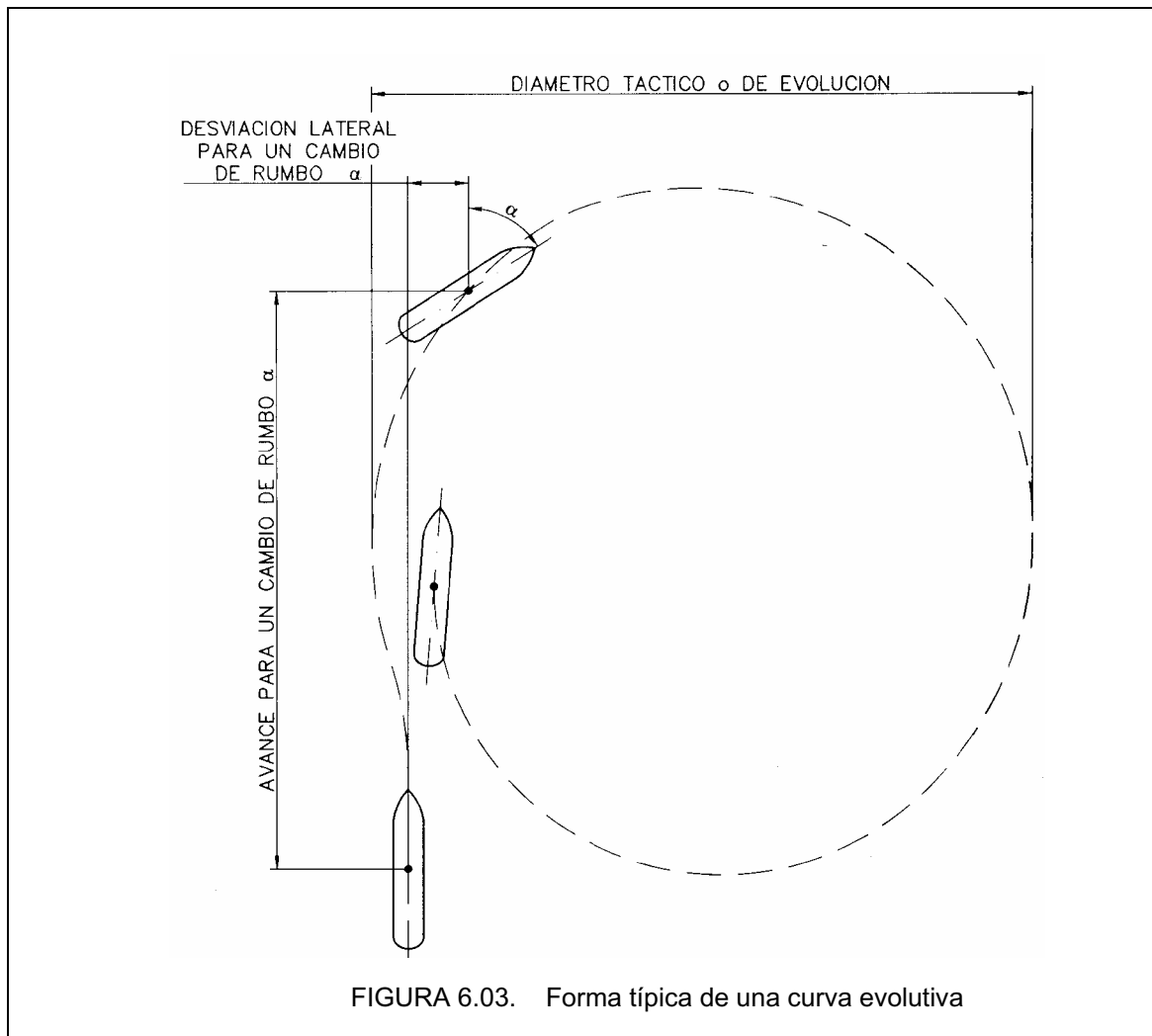


FIGURA 6.03. Forma típica de una curva evolutiva

completar los 360° de caída, el buque se encuentra en una posición (3) algo más a proa y ligeramente dentro de la que ocupaba cuando se puso timón a la banda (1).

A efectos de poder comparar los rasgos característicos de diferentes curvas evolutivas y facilitar el uso de los datos que proporcionan, se definen los términos siguientes:

- Avance de un buque para cierto cambio de rumbo es la distancia que se desplaza su centro de gravedad en la dirección del rumbo original, medida desde la posición donde se puso timón a la banda.
- Desviación lateral de un buque para cierto cambio de rumbo es la distancia que se desplaza su centro de gravedad en dirección perpendicular al rumbo original, y medida desde la posición donde se puso timón a la banda.

El avance y la desviación lateral son pues las coordenadas ortogonales de la curva evolutiva cuando se adoptan como ejes de referencia la dirección del rumbo original y su normal, tomando como origen el punto en que inicialmente se puso timón a la banda. Cuando se hace mención simplemente al avance o a la desviación sin especificar la magnitud del cambio de rumbo se sobreentiende que los valores indicados corresponden a una caída de 90°.

- Diámetro táctico, o de evolución, es la mayor distancia obtenida proyectando la curva evolutiva sobre la normal al rumbo inicial.
- Diámetro final, o de rotación, es el diámetro de la curva evolutiva durante el período uniforme, es decir cuando la trayectoria se hace prácticamente circular.

#### **6.2.4. VARIACION DE PARAMETROS DE NAVEGACION RELACIONADOS CON LA CURVA EVOLUTIVA**

Del estudio de las curvas evolutivas correspondientes a diferentes tipos de buques pueden obtenerse las conclusiones siguientes:

##### **1. Avance y desviación lateral**

Para una caída de  $90^\circ$  el avance es considerablemente mayor que la desviación lateral. Para ángulos de timón de  $35^\circ$  el alcance varía entre 3 y 5 esloras; se reduce al incrementar el ángulo de timón aplicado y aumenta con la velocidad del buque. Para ese mismo ángulo de timón la desviación lateral para  $90^\circ$  varía por lo general entre 2 y 3 esloras; disminuye al aumentar el ángulo de timón, pero es casi independiente de la velocidad.

##### **2. Diámetro táctico y final**

Para una misma velocidad y profundidad del agua ambos diámetros disminuyen cuando aumenta el ángulo de timón aplicado. Para igual profundidad de agua y deflexión de la pala los diámetros sufren poca variación para distintas velocidades, con tal que éstas sean suficientes como para garantizar una buena efectividad de gobierno por parte del timón. Para una misma velocidad y ángulo del timón ambos diámetros varían con la profundidad de agua disponible, aumentando ambos diámetros cuando la profundidad de agua se reduce, siendo este efecto más acusado cuanto más pequeño es el ángulo del timón. Para profundidades de agua de 1,2 veces el calado del buque, el incremento de los diámetros puede ser del 75% sobre los correspondientes a una profundidad de agua de 5 veces el calado del buque; si la profundidad de agua es de 1,5 veces el calado del buque, este incremento de los diámetros puede ser del orden del 20 ó 30%.

##### **3. Influencia de la forma del casco**

La forma de la obra viva afecta a las dimensiones de la curva evolutiva. De dos buques de similar eslora y calado, el que tiene carena más afinada necesita más espacio para girar que el que posee curvas más llenas; lo mismo ocurre con el buque que a igualdad de otras características generales es relativamente más largo.

Cuanto más rectangular sea la parte sumergida del plano de crujía tanto mayor es el diámetro táctico. Para profundidades de agua superiores a 5 veces el calado del buque y para ángulos de timón de  $35^\circ$ , el diámetro táctico suele estar comprendido entre 4 y 6 esloras para buques a plena carga de alta relación eslora/manga y formas finas y entre 3 y 4 esloras para buques a plena carga de baja relación eslora/manga y formas llenas.

La Normativa actual de la Organización Marítima Internacional (OMI) limita el valor máximo admisible del diámetro táctico de los buques de nueva construcción con eslora mayor de 100 m en grandes profundidades de agua, a 5 esloras para ángulos de timón de  $35^\circ$ .

##### **4. Influencia del calado y de las condiciones de carga**

Las diferencias de calado del buque afectan a sus condiciones de maniobra, teniendo los buques en carga, en general, una curva evolutiva de mayores dimensiones que cuando están en lastre. El asiento del buque tiene así mismo un efecto apreciable en las cualidades evolutivas, aumentándose el diámetro táctico cuando el buque está apopado y reduciéndose cuando está aproado; el efecto del asiento es por tanto desplazar la posición del punto giratorio hacia el extremo que cala más.

##### **5. Tiempo de evolución**

Para un mismo ángulo de timón la duración de la evolución disminuye al aumentar la velocidad. Para igual velocidad el tiempo se reduce al incrementar el ángulo de timón. Para completar una caída en el menor tiempo posible se deberá usar todo el timón a la banda y máxima velocidad.

##### **6. Velocidad lineal**

Por efecto de la resistencia del timón y del ángulo de deriva que adquiere el buque, se produce una pérdida progresiva de velocidad respecto del fondo durante los primeros  $90^\circ$  de caída, pese a que las hélices se mantienen girando a igual número de revoluciones por minuto que antes de iniciar la evolución. Ello se debe a que el buque se desplaza con un cierto ángulo de deriva, no aprovechando las líneas hidrodinámicas de su carena. El valor o proporción en que la velocidad lineal se reduce varía mucho para diferentes tipos de bu-

ques y depende de la velocidad inicial y del ángulo de timón aplicado. La mayoría de los buques, al evolucionar con todo timón a la banda, pierden entre 1/3 y 1/2 de su velocidad cuando han girado unos 90° y su velocidad final que mantienen uniforme puede estar comprendida entre 1/3 y 2/3 de su velocidad inicial.

### **7. Velocidad angular**

La velocidad angular de caída, que era nula al iniciarse la evolución, alcanza su valor máximo antes de que la proa llegue a virar 90°, y después disminuye ligeramente tornándose constante en el período final de rotación uniforme. Con todo timón a la banda en grandes profundidades de agua puede variar entre uno y tres grados por segundo dependiendo del tipo de buque.

### **8. Angulo de deriva**

Aumenta con el ángulo de timón y con la profundidad de agua disponible, pero es prácticamente independiente de la velocidad. Para ángulos del timón de 35° y grandes profundidades de agua el ángulo de deriva en el centro de gravedad del buque varía en general entre 5 y 10°, pero excepcionalmente puede alcanzar valores de 15 a 20°.

### **9. Rabeo de la popa en evoluciones**

En la figura 6.02 se observa que el radio de curvatura de la trayectoria descrita por la popa es algo mayor que el correspondiente a la trayectoria del centro de gravedad, que por definición es precisamente la curva evolutiva, y en consecuencia la popa se separará tanto más de dicha curva cuanto mayor sea el ángulo de deriva dentro del tramo considerado. Cuando se maniobra en aguas limitadas y en proximidades de obstáculos, bajos fondos u otros buques, resulta muy importante tener en cuenta ese movimiento, llamado rabeo de la popa, y tomar en consideración que ese extremo del buque barre el agua tanto más hacia afuera de la curva evolutiva, cuando más reducido sea el valor del diámetro táctico medido en número de esloras.

Este hecho debe ser tomado en consideración cuando se traza por anticipado la derrota que seguirá el buque en aguas restringidas. Un ejemplo típico se presenta cuando para entrar a puerto se hace necesario efectuar una caída de gran amplitud para pasar entre dos escolleras o tomar el primer par de boyas del canal de acceso. En tal caso, y siempre que sea posible, se tratará de no ejecutar esa maniobra con gran ángulo de timón para evitar el peligro involucrado por el rabeo de la popa.

### **10. Efecto de la hélice única en las evoluciones**

En buques de una sola hélice de paso a la derecha, y debido a la acción de la fuerza lateral que tiende ligeramente a llevar la proa a babor en marcha avante, es usual que se encuentre que la curva evolutiva con timón a esa banda tenga un diámetro algo menor, en alrededor del 10%, que la correspondiente a estribor, para similares condiciones de velocidad y ángulo de timón. Si la hélice tiene paso a izquierda resulta lo contrario, es decir que la curva evolutiva efectuada con timón a babor es la que tiene dimensiones algo mayores.

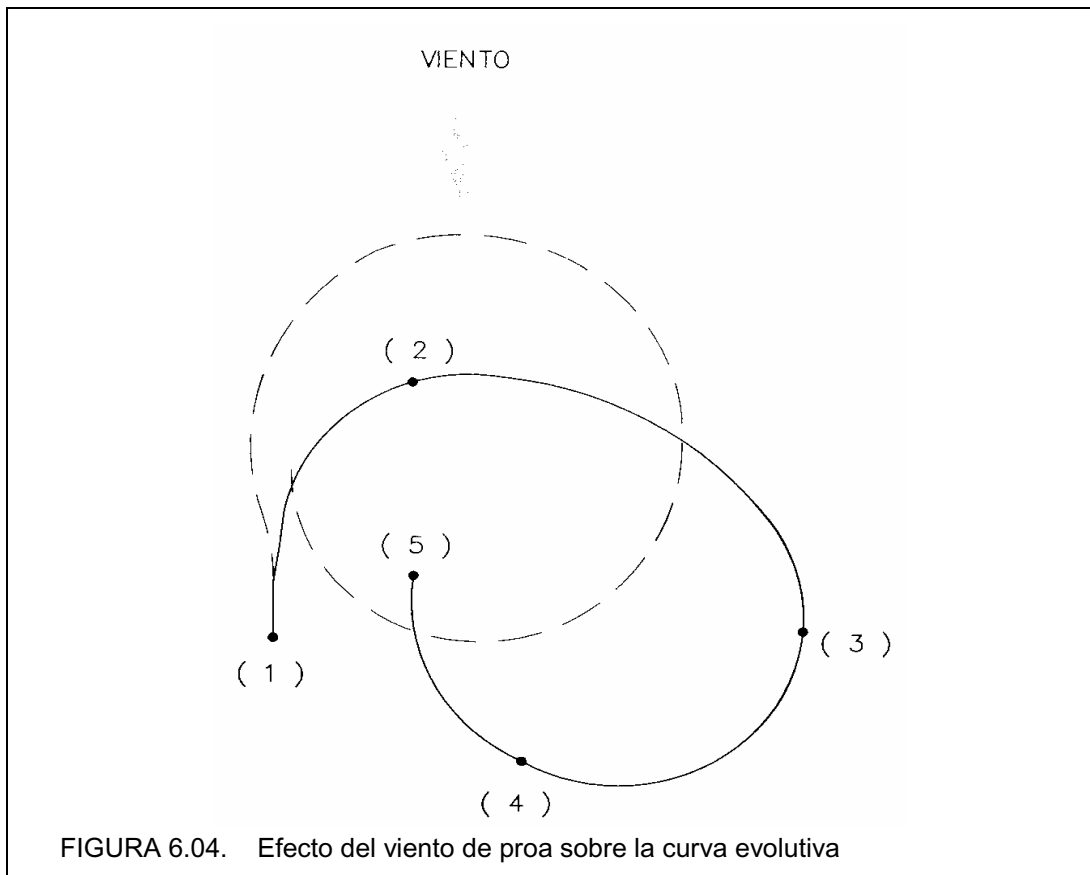
### **11. Curvas evolutivas en buques con hélices gemelas**

Las curvas descritas por buques de dos hélices en condiciones similares de velocidad y timón a cada banda son simétricas entre sí y tienen formas análogas a las ya consideradas previamente.

Si se invierte la marcha de la hélice de la banda de caída durante la evolución, la curva resultante es bastante distinta, pero las diferencias en el primer cuadrante no son demasiado notables. La velocidad del buque se ve drásticamente reducida, en un 70 al 80% con relación a la que conservaría en caso de seguir con ambas máquinas avante, y el tiempo empleado para caer 180° se incrementa. En lo que respecta a las dimensiones de la curva evolutiva, el efecto de caer en estas condiciones es normalmente reducir el diámetro táctico; el avance por lo general resulta poco afectado.

### **12. Efectos del viento sobre la curva evolutiva**

El viento deforma la curva evolutiva típica y la modificación que sufre depende de la fuerza y dirección del viento con respecto al rumbo inicial del buque antes de iniciar la caída. La forma de la curva resultante varía según el tipo de buque considerado y la intensidad y dirección de actuación del viento, dado que el abatimiento y la desviación lateral no son



uniformes durante toda la evolución, y, por tanto, la velocidad angular de caída del buque se acelera o retarda de acuerdo con el ángulo de incidencia del viento respecto del plano de cruzía. Suponiendo que se parta de un rumbo inicial con viento de proa (ver fig. 6.04), en general se experimentan las siguientes fases:

- Al poner timón a la banda (1), el buque cae rápidamente por tener gran facilidad para arribar hasta alcanzar la posición de equilibrio en marcha avante, en (2).
- Mientras recibe el viento del través a la aleta existe dificultad para seguir cayendo de arribada; la velocidad angular disminuye y ello produce un alargamiento de la curva en a dirección perpendicular al viento, entre (2) y (3).
- De (3) a (4) la tendencia a orzar facilita la caída y aumenta la velocidad angular de rotación.
- De (4) a (5) se presentan dificultades para seguir orzando a partir del momento en que el buque alcanza la posición de equilibrio en marcha avante, especialmente en buques pequeños de poca potencia.

Si el buque continúa el movimiento manteniendo el ángulo del timón, se repite el proceso en los círculos posteriores originándose una trayectoria en tirabuzón desplazada en la dirección media de la deriva ocasionada por la acción del viento.

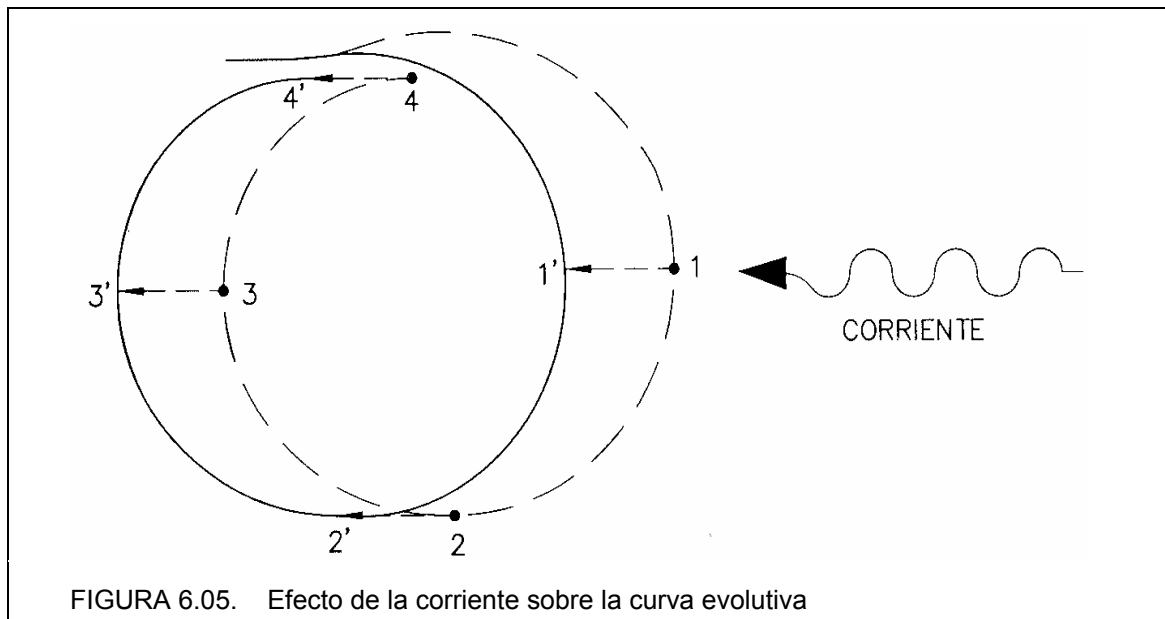
### 13. Efectos de la corriente sobre la curva evolutiva

Cuando el buque evoluciona sobre una masa de agua animada de velocidad uniforme, su curva evolutiva conserva la forma típica sobre el espejo líquido, pero se deforma con respecto al fondo, alargándose en el sentido en que la corriente fluye. Ver figura 6.05.

La corriente puede a veces llevar al buque a una posición bastante alejada del lugar en que inició la caída. En la figura se muestra cómo los puntos 1, 2, 3 y 4 se trasladan en la dirección en que tira la corriente hasta ocupar las posiciones 1', 2', 3' y 4'. El arrastre que sufren es proporcional a la velocidad de la corriente y al intervalo de tiempo en que aquella actuó en cada caso.

Si el buque continúa el movimiento manteniendo el ángulo del timón, se repite el proceso en los círculos posteriores originándose una trayectoria en tirabuzón desplazada en la dirección en que actúa la corriente.





### 6.2.5. Determinación de las curvas evolutivas de un buque

Para analizar las maniobras de un buque en concreto es fundamental contar con sus diagramas evolutivos para diferentes ángulos de timón y para las velocidades que el buque usa normalmente.

Por lo general tales diagramas se confeccionan en base a pruebas muy precisas y completas que se realizan con el primer buque de una misma clase, antes de que se incorpore al servicio. Pese a ello, como pueden existir diferencias aun entre buques similares, es muy corriente someter a todo buque nuevo, o que haya sufrido modificaciones, a una amplia serie de experiencias evolutivas, no sólo para verificar los datos disponibles, sino también para compenetrarse con su comportamiento en diversas condiciones.

En el supuesto de que no se disponga de las curvas evolutivas de los buques que se analizan, puede establecerse sus dimensiones medias aproximadas utilizando los diagramas que se recogen en las figuras 6.06, 6.07 y 6.08, en donde se determina el avance, la desviación lateral para un cambio de rumbo de 90° y el diámetro del círculo de rotación para buques de quilla plana a plena carga navegando en profundidades de agua mayores de 5 veces el calado del buque, sin viento, oleajes o corrientes, en función del coeficiente de bloque del buque ( $C_b$ ), la eslora entre perpendiculares ( $L_{pp}$ ), e ángulo del timón ( $\alpha_T$ ) y el Factor de timón  $F_t$  que se calcula mediante la expresión:

$$F_t = \frac{S_t}{L_{pp} \cdot D}$$

siendo:

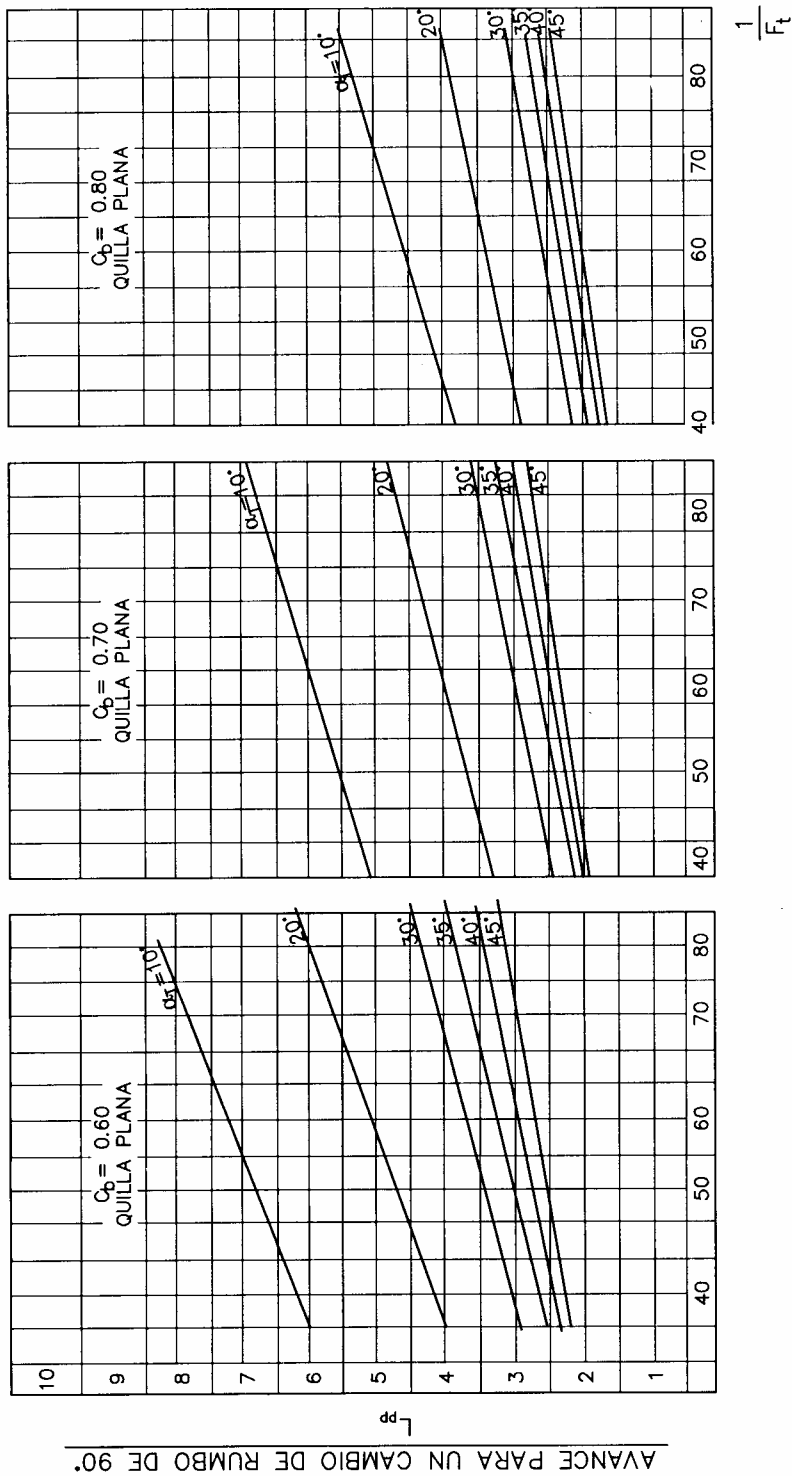
$S_t$  = Superficie de la pala del timón (ver apartado 3.4.2).

$L_{pp}$  = Eslora entre perpendiculares del buque.

$D$  = Calado del buque a plena carga.

En la utilización de los diagramas anteriores no se utilizarán nunca ángulos de timón superiores a 35°. En el supuesto de que se precise conocer los valores anteriores para otras profundidades de agua iguales o menores de 5 veces el calado del buque, se multiplicarán los valores obtenidos en las tablas por 1,25 para profundidades de agua de 1,5 veces el calado del buque y por 1,75 para profundidades de agua de 1,2 veces el calado del buque, pudiendo interpolarse linealmente para valores intermedios.

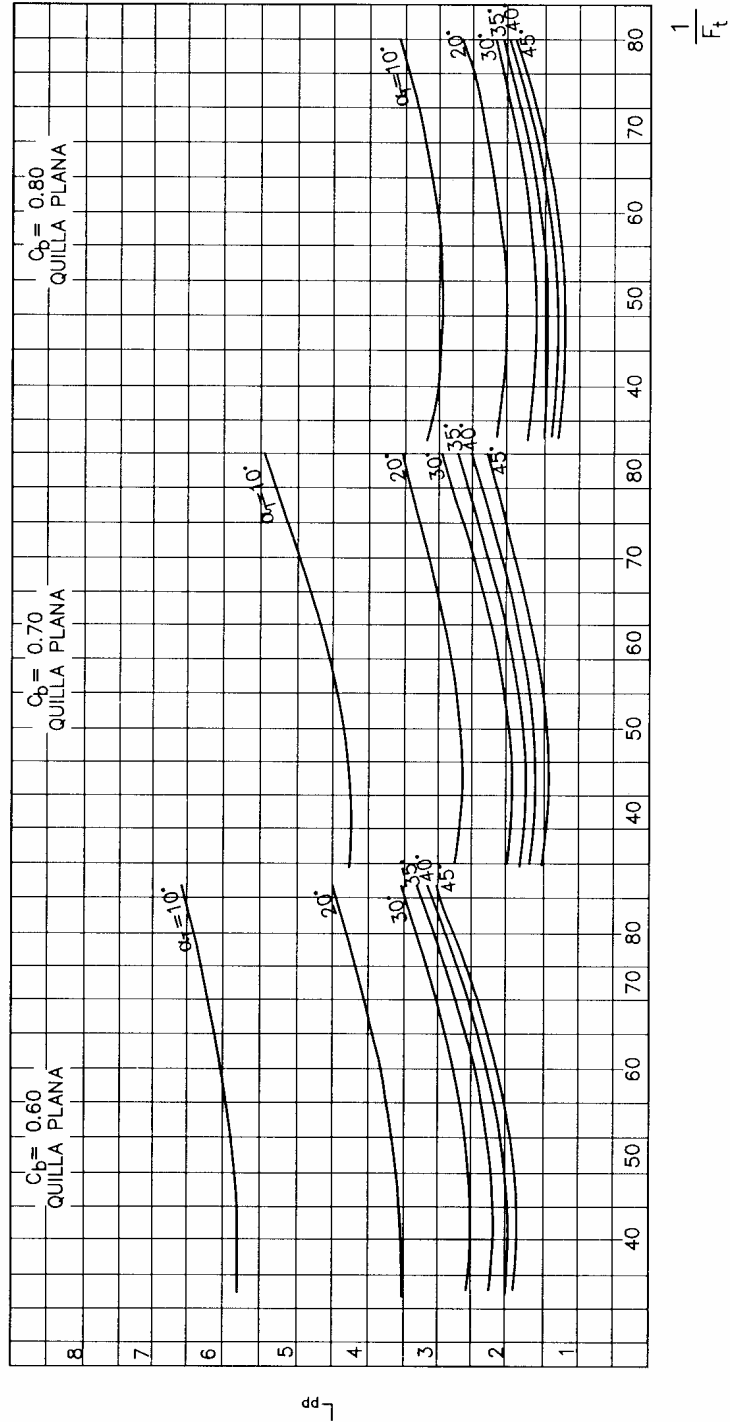
A título indicativo se recoge en la fig. 6.09 las dimensiones medias y máximas de la curva evolutiva para buques graneleros y petroleros en carga (de coeficiente de bloque alto) navegando en profundidades de agua mayores o superiores a cinco veces su calado, sin vientos, oleajes o corrientes y a velocidad de servicio, si bien las variaciones son poco significativas para otras velocidades como ya se indicó anteriormente.



$C_b$  = COEFICIENTE DE BLOQUE  
 $L_{pp}$  = ESLORA ENTRE PERPENDICULARES  
 $F_t$  = FACTOR DEL TIMON  
 $\alpha_r$  = ANGULO DEL TIMON

FIGURA 6.06. Avance de la curva evolutiva para un cambio de rumbo de 90°. Buques a plena carga en profundidades de agua  $\geq 5 \times$  calado del buque

DESVIACION LATERAL PARA UN CAMBIO DE RUMBO DE 90°



- $C_b$  = COEFICIENTE DE BLOQUE
- $L_{pp}$  = ESLORA ENTRE PERPENDICULARES
- $F_t$  = FACTOR DEL TIMON
- $\alpha_r$  = ANGULO DEL TIMON

FIGURA 6.07. Desviación lateral de la curva evolutiva para un cambio de rumbo de 90°. Buques a plena carga en profundidades de agua  $\geq 5 \times \text{cala}$  do del buque

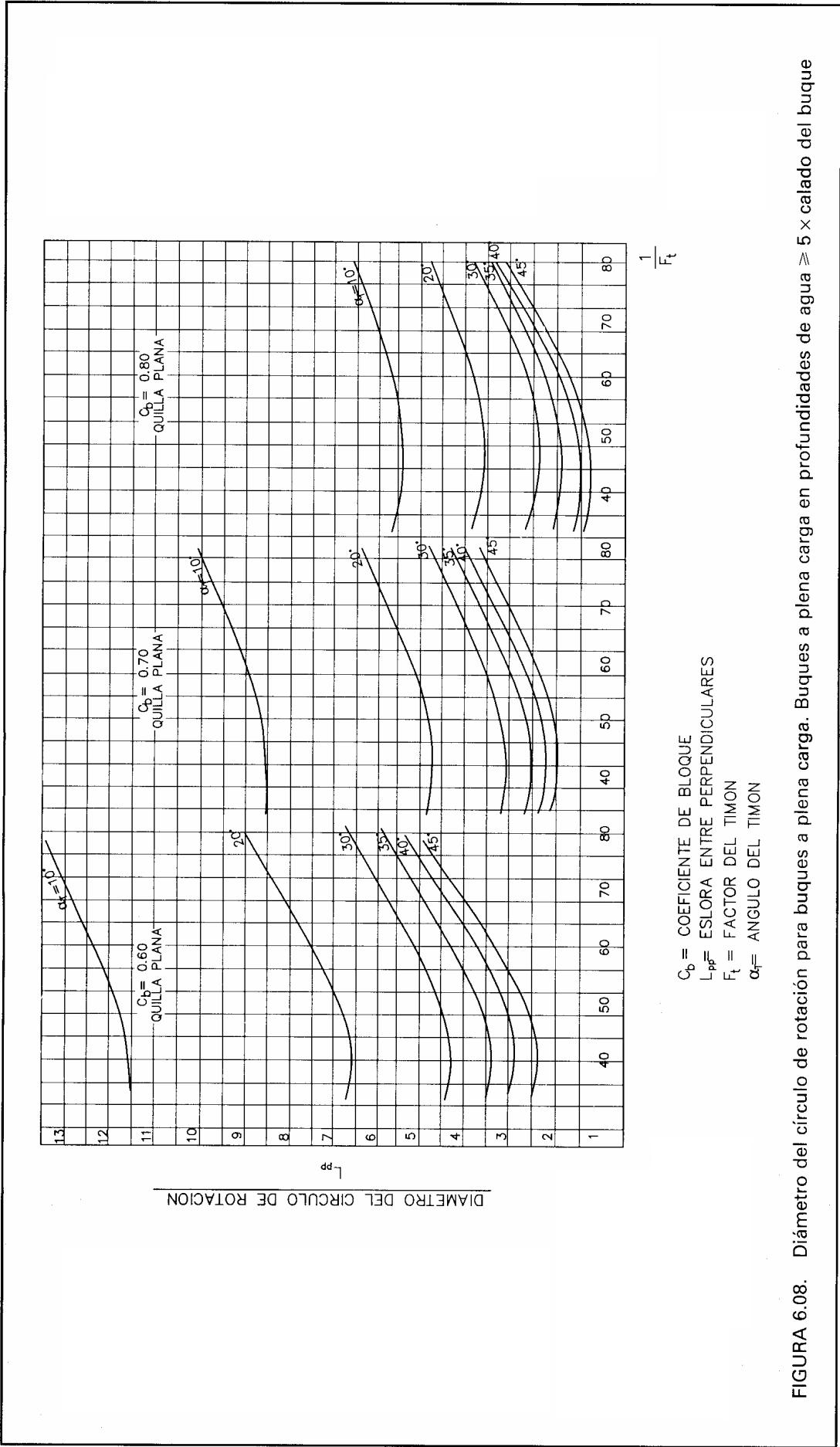
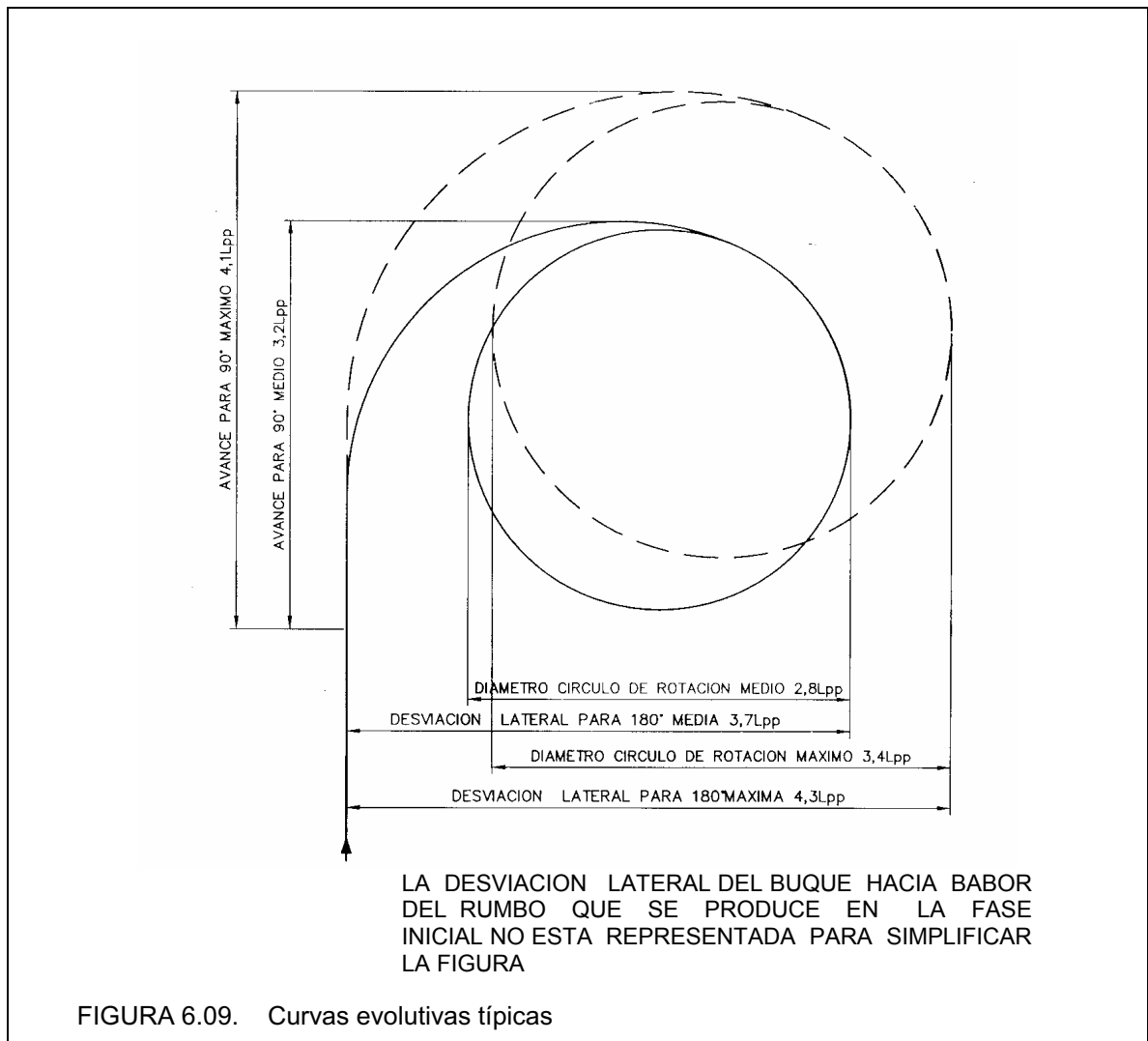


FIGURA 6.08. Diámetro del círculo de rotación para buques a plena carga en profundidades de agua  $\geq 5 \times$  calado del buque



### 6.3. EXTINCION NATURAL Y FORZADA DE LA ARRANCADA DEL BUQUE (PARADA DEL BUQUE)

#### 6.3.1. DEFINICION Y FACTORES QUE INFLUYEN

**6.3.1.1.** La extinción natural o forzada de la arrancada del buque es la maniobra que se efectúa para parar el buque. En el caso de que este proceso se realice parando las máquinas se trataría de la extinción natural, y en el supuesto más frecuente de que se cambiase el sentido de empuje de las hélices para actuar en marcha atrás, se trataría de la extinción forzada.

El análisis de las fuerzas que se generan sobre el buque y de sus efectos queda recogido esquemáticamente en la figura 6.10, que corresponde a un proceso de extinción forzada del arranque. Antes de iniciarse la fase de maniobra y supuesto un movimiento rectilíneo y uniforme, posición (1) de la figura, las únicas fuerzas que actúan sobre el buque son el empuje del propulsor « $T_p$ » y la resistencia al avance « $R_a$ » que serán iguales y de sentido contrario. Al desarrollarse la maniobra de parada, la fuerza del propulsor será nula en el supuesto de extinción natural de la arrancada u opuesta al movimiento en caso de extinción forzada, posición (2) de la figura, con lo cual en ambos casos se generará un movimiento variable de desaceleración en el que la resistencia al avance irá también disminuyendo al disminuirse la velocidad del buque, produciéndose el equilibrio de fuerzas con la fuerza de inercia « $F_i$ » ocasionado por la desaceleración que actúa sobre el buque. En el supuesto de que la maniobra se efectuase siguiendo una trayectoria curva el esquema conceptual subsiste, si bien el sistema de fuerzas que intervendrían en el proceso sería más complejo al intervenir todas las asociadas al movimiento curvilíneo, que, entre otras consecuencias producen un efecto de frenado con lo cual se acorta la distancia de parada.

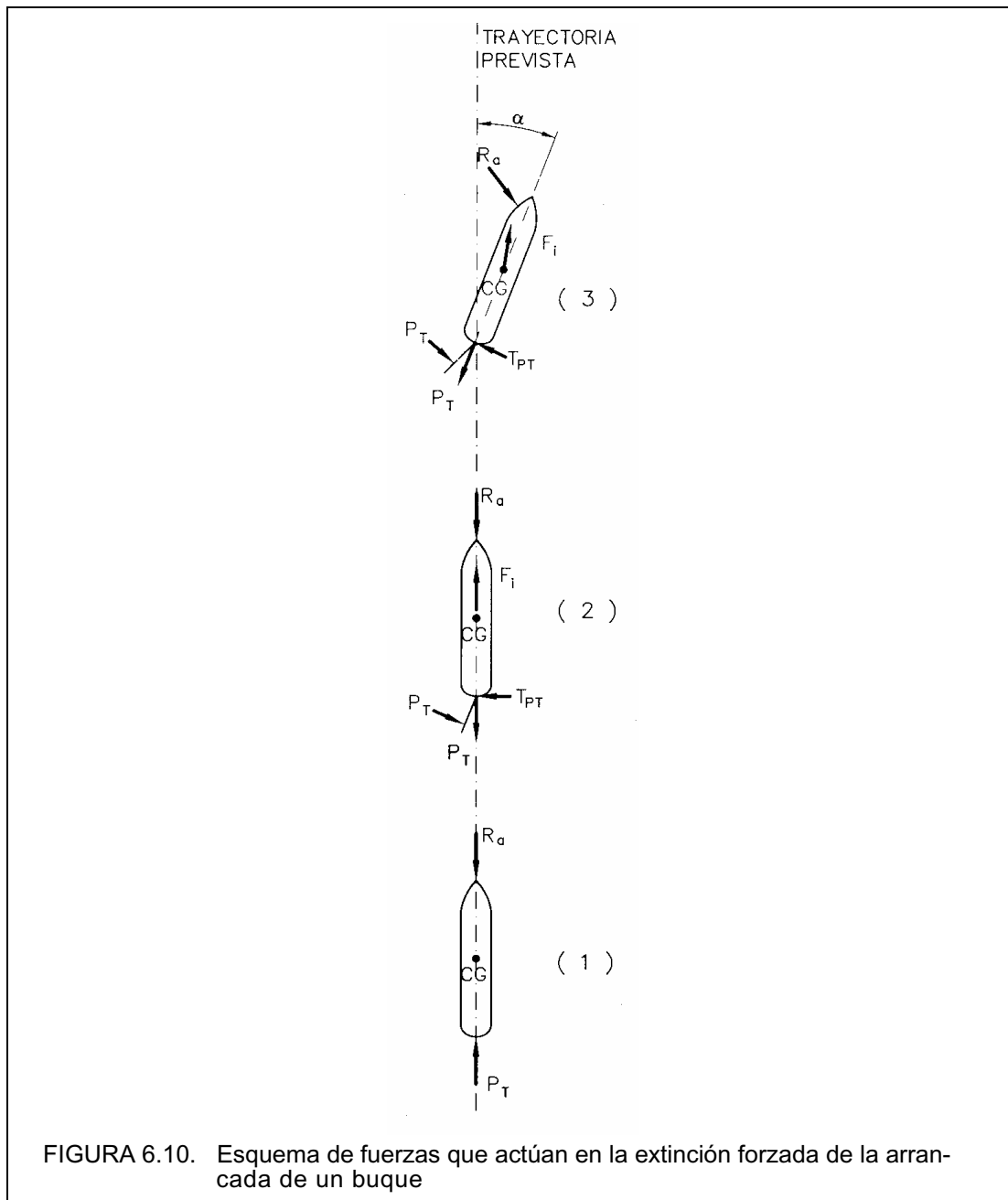


FIGURA 6.10. Esquema de fuerzas que actúan en la extinción forzada de la arrancada de un buque

Supuesta la parada de un buque dotado de una sola hélice, sobre una trayectoria prefijada, en la medida que va desarrollándose la maniobra aumenta la componente transversal de la fuerza que se genera en la hélice « $T_{PT}$ » (ver apartado 3.3.2) componente que podrá ir compensándose con la acción del timón « $P_T$ », posición 2 de la figura, por lo que el buque podrá seguir manteniendo la trayectoria prevista. Sin embargo al final de la maniobra de parada la eficacia del timón es muy reducida y la componente transversal de la fuerza generada en la hélice quedaría descompensada produciéndose un momento evolutivo que tiende a sacar al buque de su trayectoria, lo que a su vez ocasiona que la Resistencia ai avance y la Fuerza de inercia salgan del plano de crujía, posición (3) de la figura, con el resultado para el caso analizado de que el centro de gravedad del buque cae a estribor de la trayectoria inicial y el plano de crujía del buque toma un ángulo « $a$ » respecto a dicha trayectoria, situación que subsiste en régimen variable hasta el final de la maniobra. En el caso de tratarse de buques de dos hélices con sentido de giro opuestos este efecto se compensa y el buque podrá mantenerse sobre la trayectoria prevista sin desviaciones.

En el supuesto de que existan vientos, oleajes o corrientes durante la maniobra de parada habrá que tener en cuenta las derivas o movimiento del buque producidos por estas acciones, que serán especialmente significativas en el tramo final de la maniobra de parada, cuando ya no existe prácticamente capacidad de gobierno del buque.

**6.3.1.2.** La distancia que un buque con arrancada avante recorre en extinción natural después de parar sus máquinas hasta detenerse por completo depende fundamentalmente de los siguientes factores : su velocidad inicial, su desplazamiento, su estado de carga, la forma y condiciones de limpieza de su carena, la profundidad del agua, los efectos del viento, el mar y las corrientes y su sistema de propulsión.

El factor más importante es el desplazamiento, y se comprueba que, a igualdad de otras condiciones, el buque mayor conserva más tiempo su arrancada. Análogamente para un mismo buque y a igual velocidad inicial se cumple que cuando está bien cargado recorre una distancia mayor hasta pararse que cuando está con menor calado o completamente en lastre, y en este último caso puede darse que el espacio recorrido sea 1/2 ó 1/3 del correspondiente a plena carga. Entre dos buques de similar desplazamiento y dimensiones, el de líneas más finas mantiene su arrancada más tiempo que el de formas más llenas. Por otra parte, un buque que acaba de salir carenado de dique seco y tiene sus fondos limpios recorrerá una distancia mayor que cuando su obra viva está cubierta de incrustaciones.

La presencia de profundidades de aguas reducidas produce un efecto de frenado importante al aumentar la resistencia al avance, que se manifiesta especialmente con buques grandes cuando se les manobra en las aguas restringidas de los puertos con poco margen de agua por debajo de la quilla.

Las distancias y tiempos requeridos para que un buque se detenga por completo al parar sus máquinas se determinan experimentalmente para distintas velocidades iniciales en condiciones de mar calmo, sin viento ni corriente, en un lugar libre de tráfico marítimo y sin limitaciones de profundidad. Lo ideal es calcularlas sobre bases o millas medidas realizando dos comprobaciones en sentidos opuestos y promediando los valores. Los datos así determinados corresponden a la extinción natural de la arrancada, y en realidad resultan de poca utilidad práctica, ya que los buques normalmente recurren a la extinción forzada de su marcha avante dando máquinas atrás.

La determinación de la distancia de parada en extinción forzada puede hacerse experimentalmente, efectuando mediciones en maniobras en las que se invierta la propulsión en similares condiciones de máquinas que las que corresponde al caso real, y de hecho todos los buques deben tener disponible sus características de comportamiento en tales supuestos; no obstante el cálculo de la distancia de parada puede abordarse por procedimientos matemáticos tal como se recoge en el apartado siguiente, desarrollado para paradas en tramos rectos, o mediante ensayos en modelo o estudios con simulador.

Efectuando maniobras en curvas y otras especiales de zig-zag, etc., cuyo análisis excede el alcance de estas Recomendaciones, pueden reducirse estas distancias, si bien con caídas transversales más significativas en relación con la dirección de avance del buque.

**6.3.1.3.** La determinación de las caídas transversales máximas que se presentan en el punto más desfavorable del buque (suma de los producidos por la desviación lateral del centro de gravedad más las debidas al ángulo de guiñada) en el tramo final de la maniobra de parada es más compleja ya que depende de las condiciones inerciales del buque en la fase final de la maniobra. Del estudio de múltiples maniobras efectuadas con simulador pueden extraerse la siguientes conclusiones aplicadas a maniobras de parada en tramo recto:

- La caída del buque se produce en el último tramo de la maniobra cuando la velocidad del barco es menor de 1,5 m/s. A una distancia de una eslora del punto final de la maniobra no se producen desviaciones significativas en la trayectoria del buque.
- Las caídas son muy heterogéneas, dependiendo del tipo y capacidad de maniobra del barco, sin que lleguen a exceder de una eslora del buque, supuesto que no existan vientos, oleajes ni corrientes.
- La caída es mayor cuanto más elevada es la profundidad existente.
- La caída crece con el tiempo empleado por el buque en parar y, en general, es mayor cuando la velocidad inicial del buque es más elevada y cuando el régimen de motor atrás es menor.
- La actuación de hélices transversales tiene influencia en los metros finales de la maniobra cuando la velocidad del buque es muy reducida.

En el caso de que la parada se efectúe sobre trayectorias curvas el comportamiento del buque es más difícil de prever ya que actúan otras fuerzas asociadas al movimiento curvilíneo. Del estudio de maniobras efectuado con simulador puede en general concluirse que los efectos anteriormente indicados para maniobras en tramo recto se potencian, y así la caída del buque empieza a manifestarse cuando la velocidad es menor de 2,0 m/s y a una distancia de 1,5 esloras del punto final de la maniobra. Las caídas son más heterogéneas y pueden superar e valor de una eslora, por lo que en general es recomendable que se evite efectuar maniobras de parada sobre tramos curvos, salvo que se efectúen estudios específicos al respecto.

### 6.3.2. EVALUACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE PARADA

Para la determinación de las distancias de parada en navegación rectilínea, cuando la maniobra se efectúa sin ayuda de remolcadores trabajando en retenida, deben tomarse en consideración dos parámetros fundamentales: La Resistencia del buque al avance « $R_a$ » y el Empuje del Propulsor en marcha atrás « $T_p$ ». A altas velocidades predomina la Resistencia del buque al avance, mientras que para las velocidades normales en áreas portuarias y vías navegables es más importante el empuje del propulsor en marcha atrás.

Para las Áreas de Navegación y Flotación objeto de esta ROM en los que la velocidad del barco al inicio de la maniobra de parada no excede de 6 m/s ( $\approx$  12 nudos), la distancia de parada puede calcularse por el método de Chase simplificado, con la expresión siguiente:

$$D_p = \frac{I}{2} \cdot \frac{\Delta}{g} C_m \cdot V_o^2 \left[ 1 - 0,32 \frac{R_{ao}}{T_p} \right] \cdot \frac{I}{T_p} + \frac{t_{ri} \cdot V_o}{2}$$

en donde:

$D_p$  = Distancia de parada

$\Delta$  = Desplazamiento del buque, expresado en peso

$g$  = Aceleración de la gravedad

$C_m$  = Coeficiente de masa hidrodinámica que es el cociente entre la masa total del sistema en movimiento (buque + agua que se moviliza con él) y la masa del buque. Para este tipo de movimiento puede adoptarse un valor de  $C_m = 1,08$

$V_o$  = Velocidad absoluta del buque en el momento de iniciarse la maniobra de parada

$R_{ao}$  = Resistencia del buque al avance en el momento de iniciarse la maniobra de parada

$T_p$  = Empuje del propulsor en marcha atrás durante la maniobra de parada. En el supuesto de que no se conozca este empuje podrá efectuarse una estimación del mismo suponiendo que el empuje del propulsor en régimen de máquinas «todo atrás» tiene un valor igual a los 2/3 del empuje propulsor con máquinas avante a velocidades de servicio, que podrá evaluarse con los criterios recogidos en el apartado 3.3.1. Este empuje del propulsor en régimen de máquinas «todo atrás» sólo se utilizará para el cálculo de distancias de parada en maniobras de emergencia; para el cálculo de la distancia de parada en maniobras normales se supondrá que el régimen de máquinas atrás es «media» en cuyo caso el empuje del propulsor en marcha atrás podrá evaluarse en 1/3 del empuje del propulsor con máquinas avante a velocidades de servicio.

$t_{ri}$  = Tiempo de reacción necesario para invertir el empuje del propulsor desde el momento en que se inicia la maniobra de parada hasta que se alcanza el valor  $T_p$  en marcha atrás, para el que se adoptará, en ausencia de datos más concretos, un valor de 20 s.

La formulación anterior está determinada en el supuesto de que se cumplan las dos condiciones siguientes:

$$T_p \geq R_{ao}$$

$$\frac{R_{ao} \cdot g \cdot t_{ri}}{\Delta \cdot C_m \cdot V_o} \leq 0,6$$

condiciones que normalmente se cumplen en las Áreas objeto de esta ROM.



En el supuesto de que la maniobra de parada se efectúe con la ayuda de remolcadores trabajando en retenida, podrá calcularse la Distancia de Parada con la misma formulación anterior, sumando al empuje del propulsor « $T_p$ » la componente longitudinal de las fuerzas horizontales « $F_{Ri}$ » resultante de la acción de los remolcadores que actúen sobre el buque. Se hace notar que para poder considerar esta ayuda deberán ser del tipo adecuado para permitir tomar el cabo del buque en navegación e invertir después su sistema de propulsión para poder aplicar un tiro de retenida al buque de sentido opuesto al de avance del remolcador.

#### **6.4. ESTUDIO DE MANIOBRAS**

Para resolver un determinado problema de maniobra, del que se derivarán los subsiguientes requerimientos de áreas de flotación, es aconsejable desarrollar el estudio en tres fases.

- Estudio de todos los factores que influyen en el problema.
- Planteamiento de las diversas soluciones posibles y elección de las que sean factibles y aceptables.
- Estudio de situaciones de emergencia.

##### **a) PRIMERA FASE: ESTUDIO DEL PROBLEMA DE MANIOBRA PLANTEADO**

Consiste en establecer y analizar todos los factores que afectan o pueden tener influencia sobre la maniobra, con la finalidad de asegurar el mas amplio y completo conocimiento del problema a resolver. Es necesario estudiar todos los aspectos importantes relacionados con la maniobra a realizar, lo que implica consultar la información disponible en derroteros, listas de faros y señales marítimas, tablas de mareas y de corrientes, cartas y planos de puertos, reglamentos locales, etc. Además hay que tomar en consideración las condiciones climáticas existentes en la zona y las correspondientes a las condiciones límites de operación admisibles y aplicar los conocimientos que se tengan del buque que se maniobra, en especial lo referido a datos evolutivos, eslora, calados, gobierno, inercia, etc.

##### **b) SEGUNDA FASE: SELECCION DE LAS MANIOBRAS FACTIBLES Y ACEPTABLES**

Una vez cumplido el paso anterior se pueden concebir distintas soluciones posibles del problema de maniobra planteado. Dichas soluciones deben ser sometidas a una doble prueba de factibilidad y aceptabilidad. Se considera que una maniobra es factible cuando tiene razonables probabilidades de ser ejecutada con éxito aprovechando adecuadamente tanto los elementos con que cuenta el buque como los externos que puedan prestar su asistencia. La aceptabilidad se refiere a las consecuencias de la maniobra desde el punto de vista de la seguridad, entendiéndose por tal no sólo la seguridad del buque que se maneja, sino también la de otros próximos que se puedan ver eventualmente afectados por una mala maniobra del buque propio o las instalaciones que puedan existir en el emplazamiento.

Puede ocurrir que para un mismo problema de maniobra exista más de una solución factible y aceptable. Aunque previsiblemente el maniobrista seleccione siempre la mejor, por comparación de sus respectivas ventajas y desventajas, a efectos de dimensionamiento del área de flotación deben considerarse todas ellas para deducir la envolvente de superficies, a no ser que se decida eliminar algunas de las maniobras factibles, en cuyo caso dicha limitación debe incorporarse al Reglamento de Operaciones del puerto.

##### **c) TERCERA FASE: ESTUDIO DE SITUACIONES DE EMERGENCIA**

Una vez analizadas y definidas las maniobras que se consideren factibles y aceptables, es necesario analizar los supuestos que se pueden presentar en casos de emergencia, entre los que pueden citarse: errores de maniobra, fallos de los sistemas del buque o de los medios auxiliares (amarras, remolcadores, etc.), modificación de las condiciones climáticas existentes en el inicio de la maniobra, o incluso aquellas provocadas por agentes externos a la propia maniobra, como puede ser la necesidad de efectuar salidas de emergencia producidas por siniestros o accidentes en instalaciones próximas al buque.

En todos estos casos, y si bien se pueden aceptar resguardos o márgenes de seguridad más estrictos que en los supuestos normales de operación, debe verificarse que las ma-

maniobras siguen siendo factibles sin ocasionar situaciones de riesgo inaceptables. Esta consideración es especialmente importante cuando se navega en aguas restringidas, ya que la presentación de un fallo o de una situación de emergencia puede dar lugar a situaciones muy arriesgadas. El estudio de estas situaciones de emergencia normalmente conducirá a una mejora de los procedimientos de operación, reforzando las medidas que contribuyan a incrementar la seguridad y eliminando las maniobras que conllevan riesgos inaceptables.

Como ya se indicó anteriormente, en el Anejo n° 1 de la presente ROM se analizan una serie de maniobras de navegación de uso habitual, sin que sea factible contemplar todas las que pueden presentarse, ya que en la práctica no existen dos maniobras iguales ni siquiera refiriéndose al mismo buque y Area de Flotación, ya que es infinita la variación de las condiciones en que deben desarrollarse.

# PARTE 7

---

# REQUERIMIENTOS EN ALZADO



<b>7.1. ALCANCE DEL CAPITULO</b> .....	199
<b>7.2. DETERMINACION DE PROFUNDIDADES DE AGUA DE LAS AREAS DE NAVEGACION Y FLOTACION</b> .....	199
7.2.1. INTRODUCCION .....	199
7.2.2. CRITERIOS GENERALES .....	200
7.2.3. FACTORES RELACIONADOS CON EL BUQUE .....	200
7.2.3.1. CALADO ESTATICO DE LOS BUQUES .....	200
7.2.3.2. CAMBIOS EN LA DENSIDAD DEL AGUA .....	202
7.2.3.3. SOBREALADO POR DISTRIBUCION DE CARGAS .....	202
7.2.3.4. TRIMADO DINAMICO O «SQUAT» .....	203
7.2.3.5. MOVIMIENTOS DEL BUQUE PRODUCIDOS POR EL OLEAJE .....	207
7.2.3.6. ESCORAS DEL BUQUE POR LA ACCION DEL VIENTO .....	211
7.2.3.7. ESCORAS DEL BUQUE POR LA ACCION DE LA CORRIENTE .....	212
7.2.3.8. ESCORAS DEL BUQUE POR CAMBIOS DE RUMBO .....	214
7.2.3.9. RESGUARDO PARA SEGURIDAD Y CONTROL DE MANIOBRABILIDAD DEL BUQUE .....	216
7.2.3.10. MARGEN DE SEGURIDAD .....	216
7.2.3.11. COMPROBACIONES A REALIZAR REFERENTES A LOS FACTORES RELACIONADOS CON EL BUQUE .....	218
7.2.4. FACTORES RELACIONADOS CON EL NIVEL DE LAS AGUAS .....	218
7.2.4.1. MAREA ASTRONOMICA .....	218
7.2.4.2. MAREA METEOROLOGICA .....	221
7.2.4.3. RESONANCIAS POR FENOMENOS DE ONDAS LARGAS .....	225
7.2.4.4. REGIMENES FLUVIALES .....	225
7.2.4.5. ESCLUSAS Y DARSENAS ESCLUSADAS .....	226
7.2.4.6. NIVEL DE AGUA DE REFERENCIA .....	226
7.2.4.7. CRITERIOS DE OPTIMIZACION DEL NIVEL DE AGUA DE REFERENCIA Y DE LA PROFUNDIDAD DE AGUA REQUERIDA .....	228
7.2.5. FACTORES RELACIONADOS CON EL FONDO .....	231
7.2.5.1. MARGEN PARA IMPRECISIONES DE LA BATIMETRIA .....	231
7.2.5.2. DEPOSITO DE SEDIMENTOS ENTRE DOS CAMPAÑAS DE DRAGADO .....	231
7.2.5.3. TOLERANCIA DE EJECUCION DEL DRAGADO .....	231
7.2.6. PROCEDIMIENTOS EMPIRICOS .....	231
7.2.7. MANUALES DE OPERACION .....	232
<b>7.3. GALIBO SOBRE AREAS DE FLOTACION</b> .....	232

<b>7.4. NIVELES DE CORONACION DE MUELLES</b> .....	235
7.4.1. CRITERIOS DE EXPLOTACION .....	235
7.4.2. CRITERIOS DE NO REBASABILIDAD DE LAS AGUAS LIBRES EXTERIORES .....	236
7.4.3. CRITERIOS DE NO REBASABILIDAD DEL NIVEL FREATICO EN EL TRASDOS DEL MUELLE .....	236
7.4.4. CRITERIOS DE DRENAJE .....	236

7.01.	Factores que intervienen en la determinación de las profundidades de agua en las áreas de navegación y flotación .....	201
7.02.	Secciones transversales tipo de vías navegables para el cálculo del trimado dinámico .....	204
7.03.	Factor de corrección para el cálculo del trimado dinámico .....	206
7.04.	Movimientos del buque .....	208
7.05.	Esquema de fuerzas generadoras de escoras por acción del viento .....	211
7.06.	Esquema de fuerzas generadoras de escoras por acción de la corriente .....	213
7.07.	Esquema de fuerzas generadoras de escoras por cambio de rumbo .....	215
7.08.	Esquema tipo de la onda de marea (aplicable en aguas de España) .....	220
7.09.	Esquema de tiempos de operación con varias ondas de marea .....	222
7.10.	Gráfico adimensional para el cálculo de la anchura de una «ventana» en una onda de marea .....	223
7.11.	Probabilidad de disponer de un nivel de agua (hm) concreto (curva a determinar en cada caso) .....	224





---

7.1. Movimientos verticales del buque debidos a la acción del oleaje .....	209
7.2. Resguardos para seguridad y control de la maniobrabilidad del buque ( $r_{vm}$ ) y margen de seguridad ( $r_{sd}$ ) .....	217
7.3. Nivel de referencia de las aguas para determinar la profundidad .....	227
7.4. Requerimientos mínimos de servicio recomendados para determinar los niveles de agua de referencia .....	229
7.5. Nivel medio de las aguas en condiciones de operación para áreas de bu- ques en permanencia .....	233
7.6. Nivel máximo de las aguas exteriores para estudios de gálidos y dre- najes .....	234



## PARTE 7

---

### 7.1. ALCANCE DEL CAPITULO

**7.1.1.** La profundidad de agua y los gálidos aéreos necesarios en las diferentes Áreas de Navegación y Flotación podrán ser variables, estableciéndose cada uno de ellos teniendo en cuenta la vida útil de la instalación, las condiciones de operatividad admitidas para la misma, las características y distribución del tráfico de buques, los costos de construcción y mantenimiento y otros aspectos indicados en el capítulo 2. Es decir, el dimensionamiento en alzado no se realizará de forma determinística en función de un único parámetro, por ejemplo, calado de un buque, sino que deberá tener en cuenta todos los aspectos mencionados. La profundidad del agua y los gálidos aéreos que se adopten deberá permitir durante todo el tiempo y condiciones de operatividad que se establezcan para la instalación, la navegación, maniobras, permanencia y carga o descarga de los buques, en condiciones de seguridad, para todos los barcos que utilicen dichas Áreas de Navegación y Flotación.

El procedimiento para determinar las profundidades de agua y los gálidos aéreos sigue los criterios generales establecidos en el apartado 2.5, es decir:

- Calcular los espacios ocupados por los buques, que dependen por una parte del propio buque y de los factores que afectan a sus movimientos y por otra del nivel de las aguas y los factores que afectan a su variabilidad.
- Incrementar estos espacios en los Márgenes de Seguridad.
- Comparar estos requerimientos de espacio con los disponibles o exigibles en el emplazamiento.

**7.1.2.** Adicionalmente a estos dos casos y por razones de coherencia, se incluye en esta sección las Recomendaciones sobre el nivel de coronación de los muelles, en donde se establecen criterios específicos, ya que en este caso no se trata de espacios de agua o gálidos aéreos que haya que dejar exentos para la navegación o flotación de los buques. Se recogen por tanto en este capítulo los criterios para la determinación de las dimensiones siguientes:

- Profundidades de agua de las Áreas de Navegación y Flotación, considerando tanto los factores relativos al buque (calados estáticos, distribución de cargas, trimado dinámico, resguardos para movimientos del buque por vientos, oleajes, corrientes y cambios de rumbo, resguardos para maniobrabilidad y seguridad del barco, etc.) como los relacionados con el nivel de las aguas (marea astronómica, marea meteorológica, etc.) y los que dependen del fondo (imprecisiones de la batimetría, depósitos de sedimentos y tolerancias de ejecución del dragado).
- Gálidos de puentes y otras instalaciones que vuelen sobre las Áreas de Navegación (tendidos eléctricos, cables, etc.), determinados de manera que permitan la navegación o permanencia de los buques en condiciones de seguridad.
- Niveles de coronación de los muelles, tomando en consideración los condicionantes debidos al nivel de las aguas y los derivados de los requerimientos de operación de los buques y de la explotación del puerto.

### 7.2. DETERMINACION DE PROFUNDIDADES DE AGUA DE LAS AREAS DE NAVEGACION Y FLOTACION

#### 7.2.1. INTRODUCCION

La determinación de la profundidad de agua necesaria en las diferentes Áreas de Navegación y Flotación se realizará en cada caso tomando en consideración los factores siguientes:

- 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 ( $H_1$ ).
- El nivel del Agua que se considere y los factores que afectan a su variabilidad ( $H_2$ ), 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. La valoración de estos márgenes de seguridad se incluye dentro del bloque de Factores  $H_1$ .

La consideración de los factores anteriores determinará la profundidad mínima de agua requerida en el emplazamiento o profundidad nominal, que para poder quedar garantizada como espacio disponible en el emplazamiento tal como se especifica en el apartado 2.5, exigirá tomar en consideración un conjunto de factores relacionados con el fondo ( $H_3$ ).

El primer bloque de factores ( $H_1$ ), ver fig. 7.01, integra todos aquéllos que dependen del buque, ya sea en condiciones estáticas o dinámicas, incluso aunque el movimiento esté originado por causas externas al propio buque (vientos, oleajes, corrientes, etc.); representa por tanto el nivel más bajo que puede alcanzar cualquier punto del buque, en relación con el nivel medio de las aguas en las que se encuentra. Por razones de coherencia se integra en este grupo el resguardo para seguridad y control de la maniobrabilidad del barco y los propios Márgenes de Seguridad del dimensionamiento, si bien se trata de espacios que en condiciones normales nunca serán alcanzados por el casco del buque. El segundo bloque de factores ( $H_2$ ), recoge el análisis de las mareas y otras variaciones del nivel medio de las aguas (mareas astronómicas y meteorológicas, variaciones de caudal de ríos, bombeo en dársenas esclusadas, etc.), es decir, factores que determinan el nivel medio de referencia de las aguas en las que se encuentra el buque y que no generan movimientos verticales diferenciales significativos entre diferentes puntos del casco del buque. El tercer bloque de factores ( $H_3$ ) recoge exclusivamente los que dependen del fondo, incluyendo imprecisiones de la batimetría, depósito de sedimentos y tolerancias de ejecución del dragado.

## **7.2.2. CRITERIOS GENERALES**

Los tres bloques citados en el apartado anterior no siempre necesitan ser objeto de análisis detallado. En particular el estudio de los factores relacionados con el nivel de las aguas se omite cuando la determinación de calados se efectúa a partir del nivel más bajo que puedan alcanzar las aguas (BMVE corregido por variaciones meteorológicas del nivel de las aguas en Areas sin corrientes fluviales, niveles mínimos de operación de dársenas esclusadas, etc.). Esta hipótesis equivale a suponer que los buques pueden operar en cualesquiera condiciones de nivel de aguas existentes, supuesto que es habitual en los casos en los que existen carreras de marea u otras variaciones del nivel de las aguas reducidas. Para los casos en los que la variación del nivel de las aguas sea importante se recomienda no omitir el estudio de este bloque de factores, ya que puede producir ahorros significativos en las necesidades de dragado, con solo pequeñas pérdidas de operatividad.

El bloque de factores relacionados con el buque normalmente debe analizarse en todos los casos. Hay que hacer notar que los valores que se obtengan dependen en gran medida de las condiciones límites de operación que se establezcan para las diferentes maniobras de los buques, recomendándose al respecto evitar valores muy elevados, especialmente del oleaje, que no sean realmente representativos del clima marítimo existente en la zona, ya que, admitiendo unos porcentajes reducidos de tiempo de inoperatividad del Area que se considere por circunstancias meteorológicas adversas, puede conseguirse un ahorro significativo de las necesidades de dragado.

Finalmente el tercer bloque de factores relacionados con el fondo normalmente sólo se considera cuando se trata de realizar proyectos de dragado pero no cuando se trata de evaluar la navegación de un buque por zonas de calados controlados, en los que habitualmente se parte de un nivel conocido del fondo en el que deben estar ya deducidos los factores relacionados con el fondo, tal como se esquematiza en la fig. 7.01.

## **7.2.3. FACTORES RELACIONADOS CON EL BUQUE**

### **7.2.3.1. CALADO ESTÁTICO DE LOS BUQUES**

El calado estático de los buques ( $D_e$ ) se determinará para flotación en agua de mar y corresponderá, para cada tipo de barcos (petroleros, graneleros, etc.), al de mayor calado

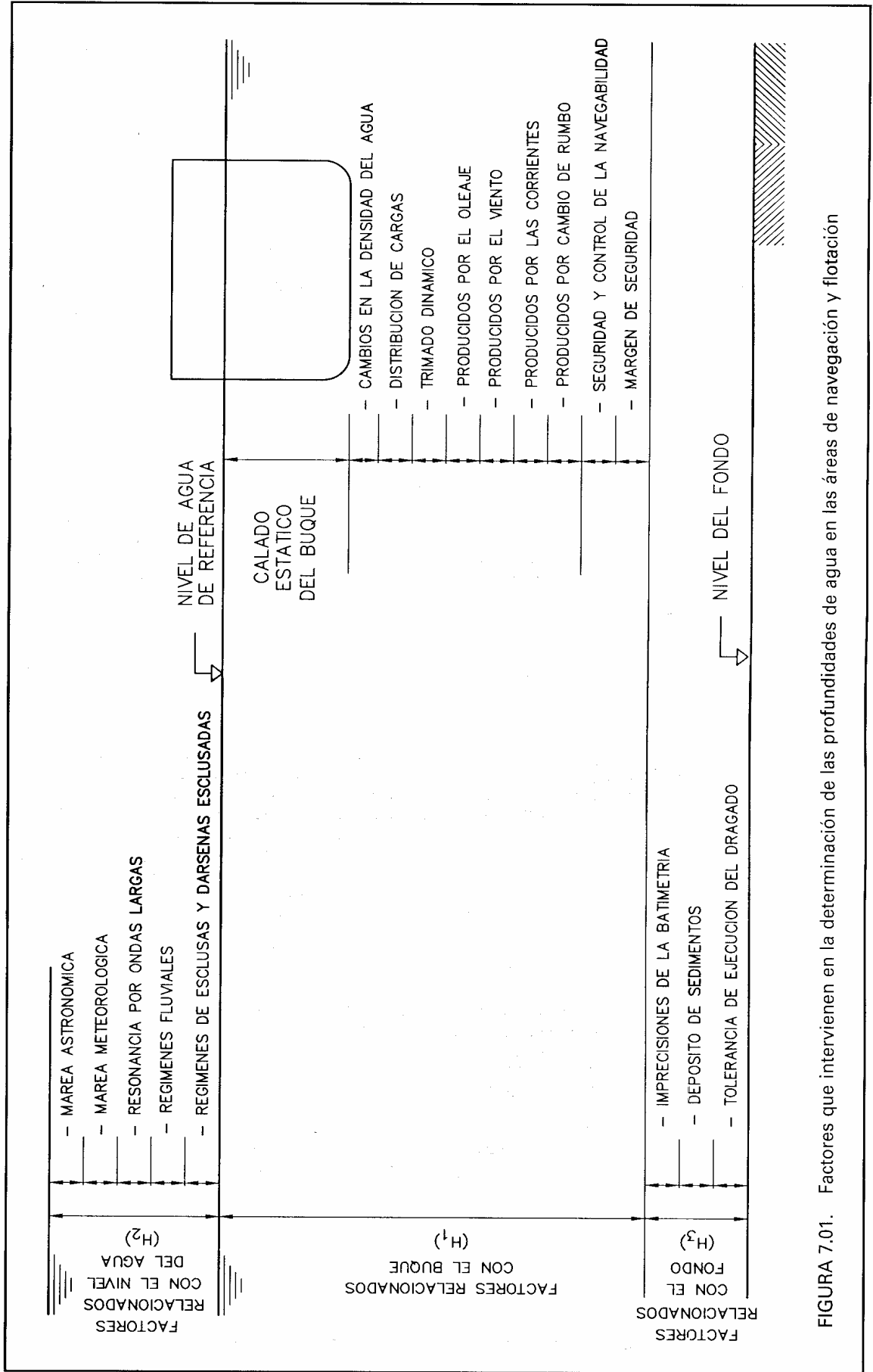


FIGURA 7.01. Factores que intervienen en la determinación de las profundidades de agua en las áreas de navegación y flotación

que pueda operar en la instalación según las condiciones previstas de explotación de la misma; en el supuesto de que el estudio se realice considerando la flota subdividida en tramos se considerará el más desfavorable de cada tramo. En ausencia de datos más concretos se considerará que para cada tipo de buques el de más calado corresponderá al de mayor desplazamiento. Dado que en el proceso de determinación de las profundidades de agua en las Áreas de Navegación y Flotación intervienen otros parámetros además del calado del buque, será necesario, en general, analizar los casos más desfavorables correspondientes a los diferentes tipos de buques que puedan operar en el Área, sin que sea válida la simplificación de analizar exclusivamente un solo buque correspondiente al de mayor calado de todos ellos.

En general el análisis se efectuará suponiendo que alguna vez los buques operarán a plena carga, salvo en el caso de astilleros o instalaciones de reparación de buques, en los que la condición de diseño corresponderá a buques en rosca o lastre según sus criterios de explotación. Para muelles y atraques, podrá considerarse excepcionalmente el supuesto de que los buques siempre operan en carga parcial, solamente en el caso de que las normas de explotación definan con precisión los criterios y procedimientos a seguir para garantizar la seguridad.

En el supuesto de que se contemplen operaciones de buques con calados mayores del de plena carga (buques escorados, con averías, etc.) será necesario evaluar previamente la posibilidad de utilizar las Áreas de Navegación y Flotación correspondientes, determinando las condiciones climatológicas (mareas, vientos, oleajes, etc.) y de seguridad y ayudas a la navegación (resguardos, remolcadores, etc.), que permitiesen efectuar las operaciones requeridas.

Las dimensiones y características de los diferentes tipos de buques de proyecto deberán ser suministradas al proyectista por las autoridades o propietarios de la instalación de acuerdo con la utilización prevista. Cuando las dimensiones de los buques no sean claramente conocidas, y a falta de información más precisa (p.e. Lloyd's Register), podrán utilizarse para el proyecto de Áreas de Navegación y Flotación las dimensiones medias de los buques a plena carga incluidas en la tabla 3.1, obteniéndose a partir de ellas sus valores característicos con los criterios que se establecen en el apartado 3.1, de esta ROM. Estas dimensiones características así determinadas podrán ser utilizadas tanto a efectos de estudios determinísticos como semiprobabilísticos, sin perjuicio de análisis estadísticos de mayor detalle que pudieran efectuarse en cada caso, si la incertidumbre sobre la flota así lo aconsejase.

Cuando los buques estén en condiciones de carga parcial deberá recurrirse a curvas o tablas específicas para obtener el calado y el desplazamiento en esas condiciones, si bien podrán aproximarse por fórmulas empíricas de validez reconocida. En el caso de buques de formas muy llenas (petroleros, mineraleros, etc.) puede suponerse que, en cualquier condición de carga, se mantiene constante el coeficiente de bloque [desplazamiento/(eslora entre perpendiculares x manga x calado ( $\gamma_w$ ))]. Para otros tipos de buques se supondrá que el coeficiente de bloque del buque se mantiene constante para cualquier condición de carga comprendida entre el 60 y el 100% y puede tener decrementos de hasta el 10% del valor anterior para condiciones de carga inferiores al 60% de la plena carga.

#### **7.2.3.2. CAMBIOS EN LA DENSIDAD DEL AGUA**

Se incluye en este concepto el cambio en el calado del buque ( $d_s$ ) producido por variaciones en la densidad del agua en la que navega (salinidad, temperatura, sólidos en suspensión, etc.). Dado que los calados de los buques se determinan habitualmente para la condición más desfavorable con densidades del agua del mar, la corrección sólo debe aplicarse cuando el barco pasa de navegación en agua salada a navegación en agua dulce, ocasionándose incrementos del calado estático del buque del 3%, cifra determinada suponiendo un peso específico del agua del mar de  $1,03 \text{ t/m}^3$  frente a  $1,00 \text{ t/m}^3$  del agua dulce (para condiciones intermedias puede interpolarse linealmente). Estos valores pueden considerarse como característicos tanto a efecto de estudios determinísticos como semiprobabilísticos.

#### **7.2.3.3. SOBRECALADO POR DISTRIBUCION DE CARGAS**

Se incluyen en este concepto los incrementos de calado ( $d_g$ ) que se producen en el buque en relación con su situación de quilla a nivel, debidos a trimados, escoras o deformaciones ocasionadas por diferentes condiciones de la carga. No se incluye en este concepto los sobrecalados debidos a escoras por carga irregular o desplazamientos de cargas, que se analizarán conforme se indicó en el párrafo tercero del apartado 7.2.3.1.

Estos sobrecalados alcanzan su mayor valor a proa o popa del buque en donde pueden cuantificarse para mercantes a plena carga en un máximo de  $0,0025 L_{pp}$  (eslora entre perpendiculares); para grandes petroleros o graneleros pueden reducirse a  $0,0015 L_{pp}$  y para otro tipo de buques pueden cifrarse en  $0,0020 L_{pp}$ . Estos valores también pueden considerarse como característicos tanto a efectos de estudios determinísticos como semiprobabilísticos, dada la pequeña cuantía de los mismos.

El trimado en carga parcial puede alcanzar valores hasta 10 veces superiores a los anteriores, sin que en ningún caso llegue a ocasionarse un calado superior al de plena carga con su sobrecalado correspondiente. En caso de considerarse condiciones de carga parcial se incorporarán a los criterios de explotación los sobrecalados máximos admisibles por distribución de cargas.

#### 7.2.3.4. TRIMADO DINAMICO O «SQUAT»

**7.2.3.4.1.** Se entiende por trimado dinámico o «squat» el incremento adicional de calado de un buque ( $d_t$ ) en relación con el nivel estático del agua, producido por el movimiento del barco a una velocidad determinada.

La navegación de un buque en aguas tranquilas ocasiona una velocidad relativa entre el barco y el agua. Esta diferencia de velocidades altera la distribución de presiones hidrodinámicas alrededor del buque generando los efectos siguientes:

- Un descenso del nivel del agua, que es variable a lo largo de la eslora del buque.
- Una fuerza vertical descendente actuando sobre el casco del buque y un momento con relación al eje horizontal transversal, que ocasionan un desplazamiento del buque en su plano longitudinal de simetría, que se compone por tanto de dos movimientos:
  - Una traslación vertical descendente uniforme.
  - Un giro sobre e eje horizontal transversal.

El trimado dinámico es la combinación de ambos efectos (descenso del nivel del agua y los dos movimientos) que producen variaciones del calado del buque de distinto valor a lo largo de su eslora. Habitualmente se denomina trimado dinámico al valor máximo del sobrecalado, que puede producirse en la proa o en la popa del barco según el tipo de embarcación, presentándose generalmente en la proa para la mayoría de los barcos comerciales.

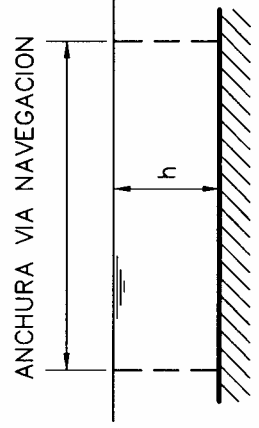
**7.2.3.4.2.** Dado que el trimado dinámico es función de la velocidad relativa del agua con respecto al buque, su valor depende principalmente de las dimensiones geométricas de la zona en que navega el barco. Las fórmulas que permiten calcular e valor del squat están determinadas generalmente para navegación en aguas poco profundas sin restricciones laterales, de las que se han deducido generalizaciones aplicables para navegación en canales sumergidos y en canales convencionales (ver fig. 7.02), que cubren la totalidad de los supuestos de interés para las Areas de Flotación que se analizan en esta Recomendación. La navegación en aguas canalizadas resulta afectada fundamentalmente por la velocidad de retorno del agua, dependiendo así de la relación entre la sección transversal principal de la obra viva del buque ( $A_b$ ) y la sección transversal del canal ( $A_c$ ); para canales sumergidos se considera como sección transversal del canal ( $A_c$ ) la superficie equivalente configurada por la prolongación de los taludes de los cajeros hasta la superficie del agua.

La determinación del trimado dinámico puede calcularse mediante la fórmula de HUUSKA/GULIEV/ICORELS, que tiene la expresión siguiente:

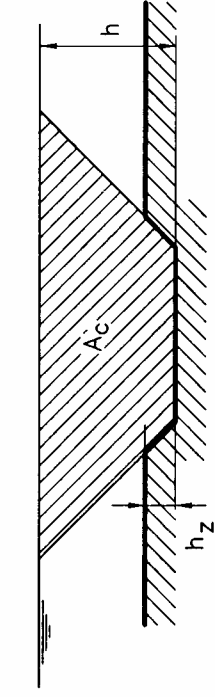
$$d_t = 2,4 \cdot \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \cdot \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \cdot K_s$$

En donde:

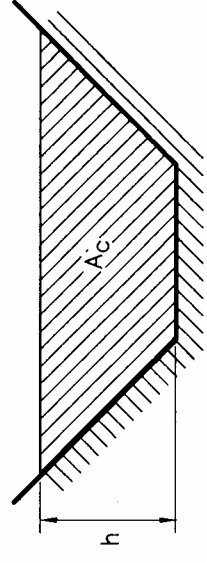
- $d_t$  : Valor máximo del trimado dinámico (m)
- $\nabla$  : Volumen del desplazamiento del buque ( $m^3$ )
- $L_{pp}$  : Eslora entre perpendiculares del buque (m)



AGUAS POCO PROFUNDAS  
SIN RESTRICCIONES LATERALES



CANAL SUMERGIDO



CANAL CONVENCIONAL

FIGURA 7.02. Secciones transversales tipo de vías navegables para el cálculo del trimado dinámico



$$F_{nh} : \text{Número de Froude} = \frac{V_1}{\sqrt{gh}} \text{ (adimensional)}$$

La resistencia hidrodinámica al movimiento de un buque depende de este Número de Froude. Cuando  $F_{nh}$  se aproxima a 1.00 la resistencia al desplazamiento alcanza valores muy elevados, que la mayoría de los buques no pueden superar con la potencia instalada; de hecho todos los buques, salvo casos especiales de embarcaciones rápidas, navegan a velocidades que no ocasionan valores de  $F_{nh}$  en exceso de 0,60/0,70 (petroleros y portacontenedores respectivamente), cifras que resultan ser barreras efectivas de la velocidad del buque. En consecuencia y simultáneamente con el estudio de los requerimientos de calado, deberá comprobarse que los números de Froude resultantes, son compatibles con las condiciones del caso.

$V_r$  = Velocidad relativa del buque con respecto al agua, excluidos efectos locales (m/s)

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$h$  = Profundidad del agua en reposo, excluidos efectos locales (m)

$K_s$  = Coeficiente adimensional de corrección para canales sumergidos o convencionales (ver fig. 7.2.), (para zonas sin restricciones laterales se tomará  $K_s= 1.00$ ). Para su determinación se emplearán las expresiones siguientes:

$$K_s = 7,45 \cdot s_1 + 0,76 \quad \text{para } s_1 > 0,032$$

$$K_s = 1,00 \quad \text{para } s_1 \leq 0,032$$

$$S_1 = \frac{A_b}{A_c} = \frac{1}{K_1}$$

$A_b$  = Área de la sección transversal principal de la obra viva del buque ( $m^2$ )  $\approx 0,98 \cdot B \cdot D$  para buques comerciales

$B$  = Manga del buque (m)

$D$  = Calado del buque (m)

$A_c$  = Área de la sección transversal del canal situada por debajo del nivel de agua en reposo ( $m^2$ ). Para canales sumergidos se considerará la superficie equivalente configurada por la prolongación de los taludes de los cajeros hasta la superficie de agua.

$K_1$  = Factor de corrección, función de  $\frac{A_b}{A_c}$  y de  $\frac{h_z}{h}$  Ver fig. 7.03

$h_z$  = Profundidad de la zanja dragada referida al nivel medio del fondo (m). Ver fig. 7.02

**7.2.3.4.3.** Para la determinación de la velocidad  $V_r$  del buque con respecto al agua que interviene en la formulación anterior, se deberá considerar, además de la limitación ya expuesta al analizar el número de Froude, las restricciones que provengan de las normas de operación del Área de Flotación o Navegación que se considere. Para la determinación de calados en fase de proyecto se considerarán los valores máximos de la velocidad que fijen las citadas normas de operación, o que se establezcan precisamente a consecuencia del proyecto que se realice; en el supuesto de que estas normas consideren velocidades diferentes según tipos y dimensiones de los buques será necesario analizar los supuestos más desfavorables. A falta de criterios específicos al respecto se recomienda adoptar valores máximos de la velocidad absoluta de los buques «V» dentro de los márgenes siguientes, sin que en ningún caso resulten números de Froude mayores de 0.70:

	Velocidad absoluta del buque «V»	
	m/s	$\approx$ nudos
— Áreas exteriores		
• Navegación por vías de aproximación		
Largas ( $\geq 50 L_{pp}$ )	4-7,5	8-15
Cortas ( $< 50 L_{pp}$ )	4-6	8-12
• Navegación de acceso a fondeaderos	1-1,5	2-3
• Navegación por canales de acceso	3-5	6-10

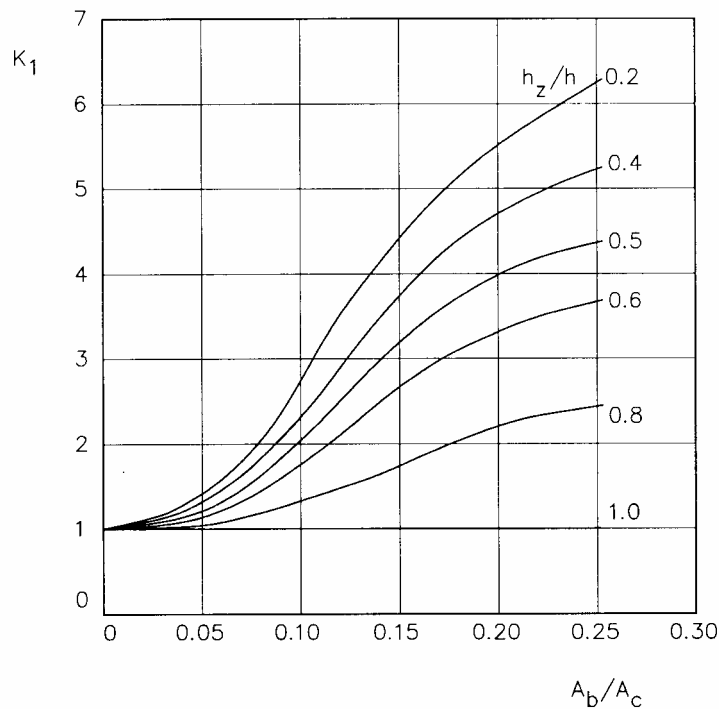


FIGURA 7.0. Factor de corrección para el cálculo del trimado dinámico

	Velocidad absoluta del buque «V»	
	m/s	≈ nudos
• Navegación de acceso a Areas de maniobra	2-3	4-6
• Navegación de acceso a Areas de atraque (pantalanes)	1-1,5	2-3
— Cruce de bocanas de puertos	2-4	4-8
— Areas interiores		
• Navegación de acceso a fondeaderos	1-1,5	2-3
• Navegación por canales	3-5	6-10
• Navegación de acceso a Areas de maniobras	2-3	4-6
• Navegación de acceso a dársenas, muelles y atraques	1-1,5	2-3

Todas estas velocidades recomendadas corresponden a la navegación que se define en cada uno de los epígrafes, por lo que será necesario considerar todos los supuestos que puedan presentarse en cada caso para hacer un estudio correcto (p.e. la navegación de buques por un canal puede corresponder no sólo a embarcaciones en tránsito hacia áreas interiores, sino también hacia atraques que estén emplazados en el mismo canal).

Se hace notar que estas velocidades recomendadas son absolutas «V», mientras que la velocidad «V» que interviene en la formulación es la velocidad relativa del buque con respecto al agua, por lo que será necesario tomar en consideración la velocidad del agua en el supuesto de que existan corrientes fluviales, de marea, etc.

Para la navegación que se efectúe en la fase final de las maniobras de aproximación y atraque, o a comienzo de las de salida, en las que la velocidad es inferior a 1 m/s y suele efectuarse con ayudas de remolcadores, puede considerarse que el efecto del squat es despreciable.

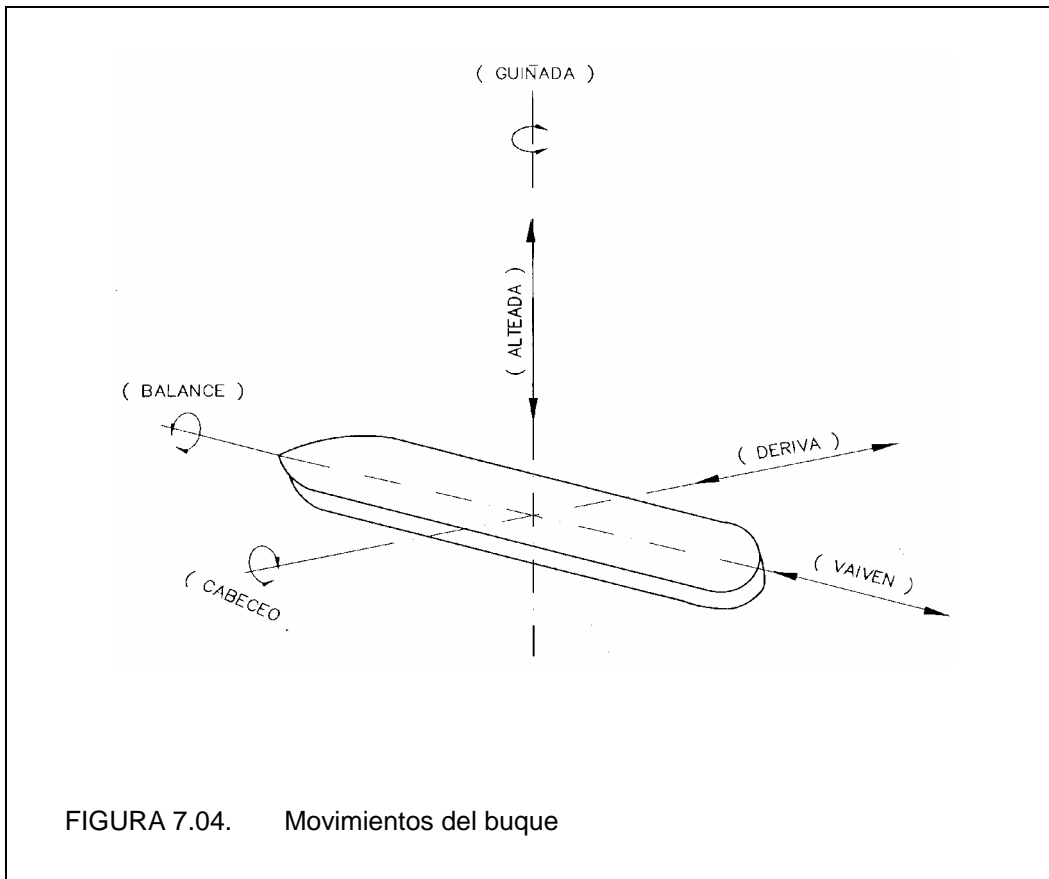
**7.2.3.4.4.** La fórmula de cálculo del trimado dinámico recogida anteriormente no toma en consideración todas las circunstancias que pueden presentarse, al no disponerse actualmente de estudios globales que cubran todos los aspectos, por lo que se recomienda su utilización tanto para estudios determinísticos como semiprobabilísticos. Las circunstancias más habituales que suelen presentarse y que no están cubiertas por la formulación, son las siguientes:

- *Adelantamiento y cruce de buques.* El flujo de agua alrededor del buque resulta afectado modificándose el trimado dinámico, cuyo valor puede incrementarse hasta el 50-100%. Si el adelantamiento o cruce de buques es ocasional se recurre normalmente a reducir la velocidad de los buques para no aumentar los requerimientos de calado. Si estas maniobras fueren habituales deberá considerarse un incremento del trimado dinámico.
- *Navegación descentrada.* El movimiento de un buque fuera del eje de un canal y la proximidad a un talud modifica el régimen hidráulico del agua alrededor del barco aumentando el trimado dinámico. El efecto es despreciable si la distancia de los taludes es mayor de 2 ó 3 mangas del buque (dependiendo del Número de Froude: a mayor Número de Froude se requiere mayor separación). Análogamente al caso anterior, si el descentramiento es ocasional se recurre normalmente a reducir la velocidad del buque, precisándose efectuar estudios de mayor detalle si las maniobras son habituales.
- *Configuración geométrica del fondo.* El procedimiento de cálculo descrito anteriormente presupone que la profundidad de agua disponible y la velocidad del barco permanecen constantes. Si la profundidad de agua disminuye progresivamente, como sucede habitualmente al acercarse a puerto, aumenta la resistencia del agua, disminuye la velocidad del buque y se reduce el fenómeno de trimado dinámico. Sin embargo, si se produce una disminución rápida de la profundidad de agua y el buque entra navegando a velocidades elevadas en esta zona, el trimado dinámico aumenta significativamente produciéndose vibraciones violentas. En estos casos se recomienda reducir la velocidad del buque de manera que el número de Froude no supere el valor de 0,50.
- *Fondos fangosos.* La presencia de una capa de fangos fluidificados en el fondo produce en general disminuciones del trimado dinámico debido a variaciones en el régimen hidráulico del flujo alrededor del barco y a la variación de las condiciones de flotabilidad. Excepcionalmente pueden presentarse mayores valores del trimado dinámico en caso de que el barco se desplace a través de fangos muy poco densos y en el supuesto de que la velocidad de navegación supere los 4 m/s ( $\approx$  8 nudos).
- *Navegación en curva o con ángulo de deriva.* En la actualidad no se conocen investigaciones que permitan cuantificar la transcendencia de estos supuestos. A efectos prácticos se mantendrá el cálculo para navegación en tramos rectos sin ángulo de deriva, recurriéndose a disminuir la velocidad del buque en el supuesto de que el trimado dinámico fuese más desfavorable.

### **7.2.3.5. MOVIMIENTOS DEL BUQUE PRODUCIDOS POR EL OLEAJE**

**7.2.3.5.1.** Los efectos del oleaje sobre el buque se analizaron con carácter general en el apartado 4.3; en este apartado se estudian específicamente los movimientos verticales de un buque — alteada, cabeceo y balance (ver fig. 7.04)— producidos por la acción del oleaje, que pueden ocasionar un incremento ( $d_w$ ) considerable en los requerimientos de calado del barco. La magnitud de estos movimientos verticales depende de los parámetros del oleaje (altura, período y dirección), de las características del barco (tipo de barco, calado, condiciones de carga y velocidad de navegación) y de la profundidad de agua existente en el emplazamiento. Los mayores movimientos se producen cuando el período del oleaje coincide con el periodo natural de oscilación del buque, circunstancia en la que se producen fenómenos de resonancia. Dado que los períodos naturales para los movimientos de alteada, cabeceo y balance, suelen ser superiores a 8 segundos para los buques de mayores desplazamientos, son las olas largas de mar de fondo las que tienen una mayor incidencia en el movimiento de este tipo de buques. Para pequeñas embarcaciones los períodos críticos del oleaje son menores, pudiendo cifrarse en 2-3 s para embarcaciones de hasta 6 m de eslora, 3-5 s para 12 m de eslora y 5-7 s para 20 m de eslora.

El procedimiento genérico de abordar el estudio de los movimientos del buque inducidos por el oleaje es determinar el operador de amplitud de respuesta o función de transferencia, que determina la relación entre el movimiento del buque y la altura de ola incidente para cada frecuencia y dirección del oleaje. La frecuencia a utilizar es la frecuencia



relativa del oleaje en relación con la velocidad del barco y la dirección de las olas. Este sistema de análisis es complejo y no admite una generalización simplificada de sus conclusiones, especialmente cuando se induce el fenómeno de resonancia. No obstante y teniendo en consideración que estas condiciones normalmente estarán excluidas de los procedimientos habituales de operación para la navegación y permanencia de buques en condiciones de seguridad, debido a los grandes ángulos de cabeceo y balance que pueden ocasionarse, es posible establecer los criterios simplificados que se recogen en la Tabla 7.1. (no aplicables a embarcaciones con  $L_{dp} < 60$  m.) para evaluar los incrementos de calado necesarios para hacer frente a los movimientos debidos al oleaje. Esta tabla toma en consideración los factores siguientes:

- El método de estudio, ya sea determinístico o semiprobabilístico, estableciendo los valores máximos esperables del movimiento vertical del buque, aplicables en uno y otro caso.
- El desplazamiento de los buques en función del porcentaje de carga.
- La velocidad del buque, llegando a considerar el caso de buques parados. Para buques amarrados o fondeados las restricciones impuestas por amarras y anclas tenderán en general a reducir los movimientos, por lo que los valores que se obtengan en estos casos estarán normalmente del lado de la seguridad.
- La relación entre la profundidad de agua disponible en el emplazamiento (en condición de reposo) y el calado del buque.
- La dirección de actuación del oleaje en relación con el buque.
- Las características del oleaje. El procedimiento recomendado supone en primera aproximación que el espectro de los movimientos verticales del buque es proporcional al espectro del oleaje.

**7.2.3.5.2.** Para el caso de embarcaciones con  $L_{dp} < 60$  m no puede establecerse una correlación tan simple como la recogida en la Tabla anterior, pudiendo formularse los criterios siguientes. Ver fig. 7.04.

**TABLA 7.1. MOVIMIENTOS VERTICALES DEL BUQUE DEBIDOS A LA ACCION DEL OLEAJE**

	Altura de la ola (m)							
	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
Eslora del buque ( $L_{pp}$ en m)	Desplazamiento vertical (m)							
75	0,10	0,17	0,34	0,58	0,76	1,02	1,30	1,58
100	0,05	0,14	0,28	0,46	0,65	0,87	1,12	1,36
150	0,00	0,09	0,20	0,34	0,51	0,69	0,87	1,08
200	0,00	0,05	0,15	0,26	0,40	0,57	0,72	0,92
250	0,00	0,03	0,10	0,21	0,33	0,48	0,63	0,80
300	0,00	0,00	0,07	0,16	0,25	0,39	0,56	0,68
400	0,00	0,00	0,04	0,11	0,18	0,31	0,51	0,58

**Notas**

1. La altura de ola a la que se refiere este cuadro es la altura significativa  $H_s$  del estado del mar. El movimiento vertical del buque que se obtiene es también el «significante». El movimiento vertical máximo podrá determinarse suponiendo que el factor de correlación con la altura de ola es constante y que, por tanto, el espectro de movimientos del buque es proporcional al espectro del oleaje. En este supuesto y para estudios determinísticos, se considerará que el movimiento vertical máximo del buque es el resultante de mayorar los valores de la Tabla por los factores siguientes:

- Buque desplazándose:  $2,00 - E_{max}$
- Buque fondeado o amarrado:  $2,35 - E_{max}$

siendo  $E_{max}$  el Riesgo máximo admisible definido en la Tabla 2.2. según las características del área y maniobra que se analiza.

En el caso de que se efectúen estudios semiprobabilísticos se supondrá que, en el desarrollo de una maniobra independiente, el mayor valor del movimiento vertical del buque con una probabilidad de ser excedido igual a  $m$ , puede obtenerse mediante la integración de la función de densidad que representa la probabilidad de presentación de los movimientos verticales máximos asociados a un conjunto de « $N_w$ » Olas; en consecuencia, y efectuada esta integración, se considerará que el movimiento vertical máximo del buque es el resultante de mayorar los valores de la Tabla por el factor siguiente:

$$f(\mu \cdot N_w) = 0,707 \left[ L_n \frac{N_w}{1} \right]^{1/2} \frac{1}{1 - \mu}$$

siendo « $L_n$ » el logaritmo neperiano del término a que acompaña. Para « $N_w$ » se tomará el número de olas esperable en función del tiempo que permanezca el buque en la zona objeto de estudio, con un valor máximo de 10.000.

2. Los valores de la Tabla están determinados para buques cargados (desplazamientos  $\geq 90\%$  del máximo), parados o con velocidades reducidas (número de Froude  $F_{nh} \leq 0,05$ ), situados en zonas con profundidad de agua  $\geq 1,50$  x calado del buque y con oleajes actuando longitudinalmente con el eje del buque ( $\pm 15\%$ ).
3. Para buques en carga parcial los coeficientes de la Tabla se multiplicarán por los factores siguientes:
- Desplazamiento  $\geq 90\%$  del máximo: 1,00
  - Desplazamiento = 70% del máximo: 1,10
  - Desplazamiento  $\leq 50\%$  del máximo: 1,20
  - Desplazamiento entre el 90% y el 70%: interpolación lineal entre 1,00 y 1,10
  - Desplazamiento entre el 70% y el 50%: interpolación lineal entre 1,10 y 1,20

**TABLA 7.1. (Continuación)**

4. La corrección en función de la velocidad se determinará multiplicando los valores de la Tabla por los factores siguientes:
  - Número de Froude  $\leq 0,05$ : 1,00
  - Número de Froude = 0,15: 1,25
  - Número de Froude  $\geq 0,25$ : 1,35 (\*)
  - Número de Froude entre 0,05 y 0,15: Interpolación lineal entre 1,00 y 1,25
  - Número de Froude entre 0,15 y 0,25: Interpolación lineal entre 1,25 y 1,35

(\*) El factor 1,35 puede llegar a ser menor de 1,00 para olas de periodo reducido actuando sobre buques de gran eslora. En estos casos podrían utilizarse valores menores basados en estudios específicos de detalle.
5. La influencia de la profundidad se calculará multiplicando los valores de la Tabla por los factores siguientes:
  - Relación calado de agua/calado del buque  $\geq 1,50$ : 1,00
  - Relación calado de agua/calado del buque  $\leq 1,05$ : 1,10
  - Relación de calados entre 1,50 y 1,05: Interpolación lineal entre 1,00 y 1,10
6. La influencia de la dirección de actuación del oleaje se determinará multiplicando los valores de la Tabla por los factores siguientes:
  - Angulo entre el eje longitudinal del buque y la dirección del oleaje  $\leq 15^\circ$ : 1,00
  - Angulo entre el eje longitudinal del buque y la dirección del oleaje = 35: 1,40
  - Angulo entre el eje longitudinal del buque y la dirección del oleaje = 90: 1,70
  - Angulos comprendidos entre 15 y 35: Interpolación lineal entre 1,00 y 1,40
  - Angulos comprendidos entre 35 y 90: Interpolación lineal entre 1,40 y 1,70
7. Para valores intermedios de la eslora del buque se interpolará linealmente entre intervalos. Para buque de pequeña eslora ver criterios específicos en el texto de la Recomendación.
8. En el supuesto de que intervengan varios factores de corrección se utilizará como multiplicador de los valores de la Tabla el producto de los diferentes factores individuales determinados según los criterios precedentes.

- La alteada de las pequeñas embarcaciones sigue los movimientos verticales del oleaje si la longitud de ola es mayor de 2,5 veces la secante del plano de flotación del buque medida según la dirección del oleaje ( $L_{pb}$  para oleaje longitudinal o manga ( $B$ ) para oleaje transversal a  $90^\circ$ ). Para longitudes de ola menores de 0,5 veces la dimensión anterior, la alteada tiende al valor cero.
- El balance del buque para oleajes transversales a  $90^\circ$  está principalmente relacionado con el período de las olas. En el supuesto de resonancia del período del oleaje con el de la embarcación el ángulo máximo de balance puede alcanzar un valor de 3 veces la pendiente de la superficie del agua.
- El cabeceo del buque no presenta resonancias significativas con el oleaje longitudinal, por lo que el ángulo de cabeceo del buque sigue aproximadamente la pendiente del agua en sus proximidades.
- A falta de estudios específicos podrá suponerse que el movimiento vertical de las pequeñas embarcaciones debido a la acción del oleaje es del 50% de la altura de ola, determinado en los mismos supuestos definidos en la Nota 2 de la Tabla 7.1. Para tomar en cuenta otros efectos se aplicarán los factores recogidos en las Notas de la citada Tabla.

Para la determinación de los movimientos del buque debidas a la acción del oleaje, se considerará en todos los casos como altura de ola significativa el valor máximo compatible con la maniobra de navegación del buque que se analice, en conformidad con los lí-

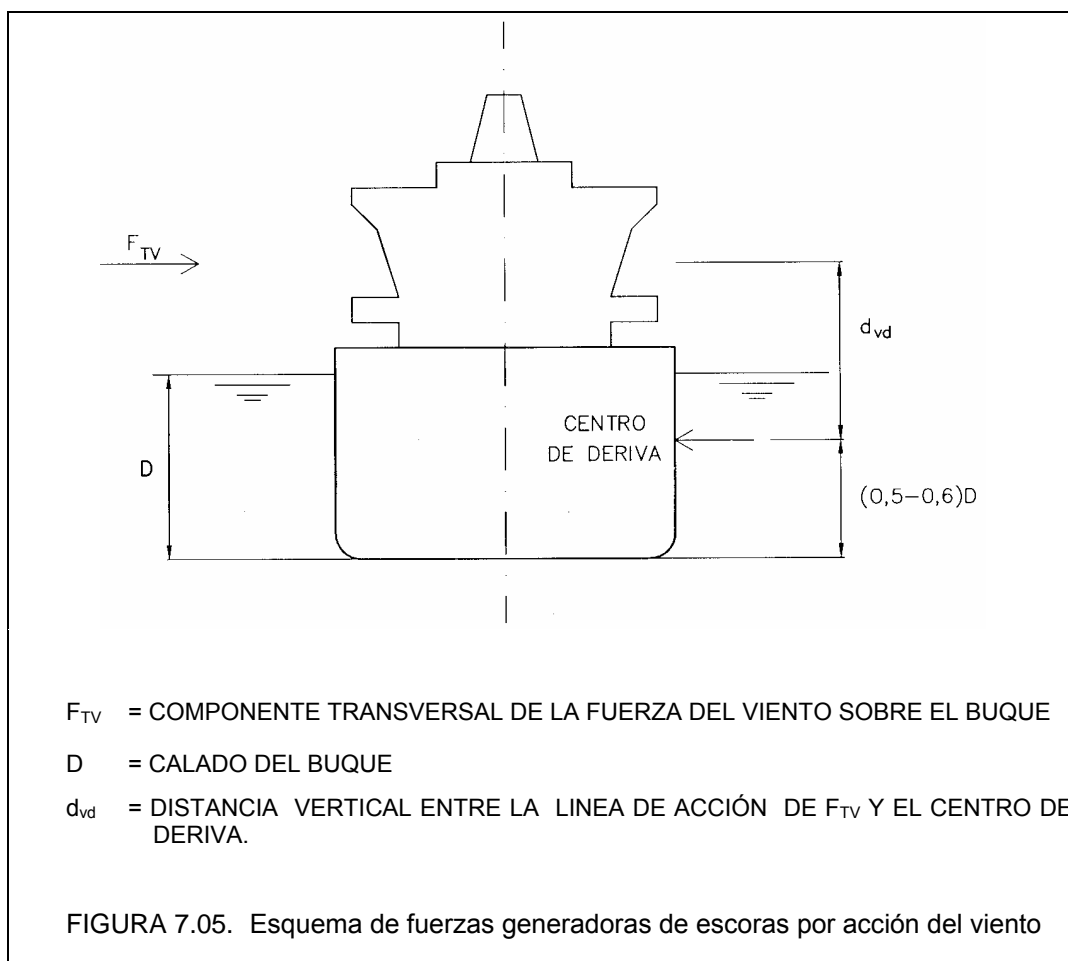
mites de operación establecidos para el diseño. Ver Tabla 8.1. Se hace notar que para el caso de muelles, fondeaderos, amarres y otras zonas donde se puedan efectuar operaciones de carga y descarga, la condición determinante para determinar el calado será la de permanencia del buque en la zona considerada y no la que limite las operaciones de carga y descarga, que será siempre igual o inferior a la de permanencia.

### 7.2.3.6. ESCORAS DEL BUQUE POR LA ACCIÓN DEL VIENTO

La actuación del viento sobre el buque produce movimientos de escora que dan lugar a sobrecalados ( $d_v$ ) cuya cuantía depende de las características dinámicas del buque y de la acción del viento que se considere. Este efecto es prácticamente despreciable para la actuación de vientos longitudinales, teniendo una mayor incidencia en el caso de vientos transversales, si bien su repercusión en los calados también es mínima salvo en el caso de embarcaciones de casco plano o de algunas embarcaciones menores de navegación a vela. La cuantificación aproximada de su efecto para buques en navegación puede realizarse suponiendo que la resultante de los vientos que actúan transversalmente sobre el buque está desplazada en relación al centro de deriva del mismo en donde se sitúa la resultante de las cargas de deriva, ver fig. 7.05, lo que ocasiona un giro alrededor del eje longitudinal del buque (balance) hasta alcanzar un valor en el que el par adrizante estabilizador equilibra el momento de las cargas exteriores del viento. Para buques amarrados el efecto es similar si bien las cargas exteriores producidas por el viento estarán equilibradas por los tiros de las amarras o las reacciones de las defensas, con lo cual habrá que considerar un brazo del par diferente.

La cuantificación de este giro podrá realizarse mediante la fórmula siguiente:

$$\operatorname{tg} \theta_{TV} = \frac{F_{TV} \cdot d_{vd}}{\gamma_w \cdot (I - \nabla d_{bg})}$$



Siendo:

- $\theta_{TV}$  = Ángulo de balance del buque ocasionado por la acción del viento transversal.  
 $F_{TV}$  = Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante de la acción del viento sobre él  
 $d_{vd}$  = Distancia vertical entre la línea de acción de  $F_{TV}$  para el caso de buques en navegación, y el centro de deriva; el centro de deriva puede suponerse situado a una distancia de 0,5 a 0,6 veces el calado del buque medida desde el nivel inferior de la quilla. Para buques amarrados se determinará entre la línea de acción  $F_{TV}$  y la de las fuerzas de amarres o defensas que equilibren a  $F_{TV}$  medida en el plano de crujía.  
 $\gamma_w$  = Peso específico del agua  
 $I$  = Momento de inercia de la superficie de isocarena referido a su eje longitudinal. Esta superficie de isocarena podrá asimilarse a una elipse cuyo eje mayor sea la eslora entre perpendiculares ( $L_{pp}$ ) y su eje menor la manga del buque ( $B$ ), con lo cual el Momento de Inercia tendría el valor:

$$I = \frac{\pi \cdot L_{pp} \cdot B^3}{64}$$

- $\nabla$  = Desplazamiento del buque, expresado en unidad de volumen.  
 $d_{bg}$  = Distancia vertical entre el centro de gravedad de pesos y el centro de empuje (centro de gravedad del volumen sumergido) del buque que se analice  
 Esta distancia « $d_{bg}$ » es un valor incierto, ya que la posición del centro de gravedad de pesos puede variar mucho con el tipo de buque, el tipo de carga y la condición de carga (plena, media, lastre, etc.). No obstante lo anterior, si pudiera conocerse la situación de dicho centro de gravedad, podría utilizarse la siguiente fórmula:

$$d_{bg} = KG - D \left( 0,84 - \frac{0,33 \cdot C_b}{0,18 + 0,87 C_b} \right)$$

en donde:

- $KG$  = Altura del centro de gravedad de pesos sobre la quilla  
 $D$  = Calado medio del buque en las condiciones de carga que se consideren  
 $C_b$  = Coeficiente de bloque al calado  $D$  anterior

El sobrecalado debido a este balance se determinará para buques de casco plano mediante la expresión:

$$d_v = \frac{B \text{ sen } \theta_{TV}}{2}$$

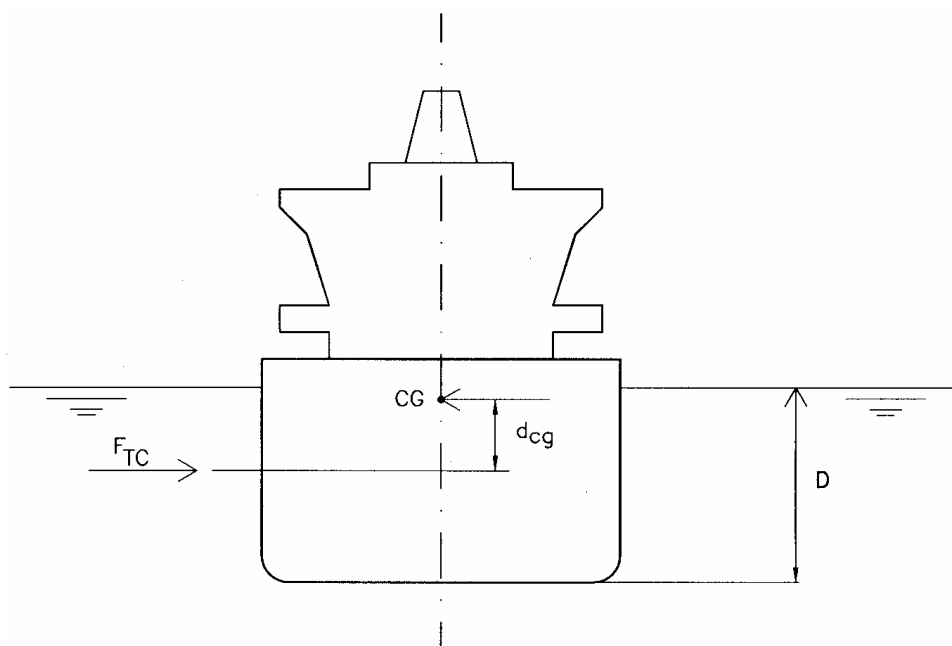
pudiendo adoptarse este valor como característico tanto en estudios determinísticos como semiprobabilísticos, dada la pequeña cuantía del mismo.

El valor de  $F_{TV}$  se evaluará con los criterios establecidos en el Capítulo IV, aplicándolos a las velocidades del viento relativo que se correspondan con las que se establezcan como límites de operación en el caso que se considere.

### 7.2.3.7. ESCORAS DE BUQUES POR LA ACCION DE LA CORRIENTE

El movimiento de un buque en navegación sometido a la acción de la corriente, una vez alcanzado el régimen de equilibrio permanente, no produce escoras ni sobrecalados adicionales, ya que la línea de acción de la resultante de las cargas de la corriente sobre el buque coincide con la de las cargas de deriva, no existiendo ningún par desequilibrado generador de ángulos de balance; sin embargo cuando se altera la situación de equilibrio permanente debido a la presencia de corrientes de actuación variable, lo que sucede frecuentemente en el caso de corrientes transversales por cambios en la alineación de la vía navegable o por interposición de obstáculos físicos, puede presentarse un par desequilibrado ocasionado porque el equilibrio de las fuerzas de la corriente sobre el buque no se produce con las fuerzas de deriva aplicadas en el centro de deriva, sino con las fuerzas de inercia aplicadas en el centro de gravedad, ver fig. 7.06. Este efecto, que es práctica-





$F_{TC}$  = COMPONENTE TRANSVERSAL DE LA FUERZA DE LA CORRIENTE SOBRE EL BUQUE.

$D$  = CALADO DEL BUQUE

$d_{cg}$  = DISTANCIA VERTICAL ENTRE LA LINEA DE ACCIÓN DE  $F_{TC}$  Y EL CENTRO DE GRAVEDAD DEL BARCO.

NOTA: ESTE EFECTO SOLO SE PRODUCE CUANDO SE ALTERA LA SITUACION DE EQUILIBRIO PERMANENTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE CORRIENTES DE ACTUACIÓN VARIABLE.

FIGURA 7.06. Esquema de fuerzas generadoras de escoras por acción de la corriente

mente despreciable para corrientes actuando longitudinalmente y que tiene una incidencia mínima en el caso de corrientes transversales, puede calcularse determinando el giro de balance del buque necesario para que el par adrizante equilibre el momento de las cargas exteriores de la corriente. La cuantificación de este giro para buques en navegación puede realizarse mediante la fórmula siguiente:

$$t_g \theta_{TC} = \frac{F_{TC} \cdot d_{cg}}{\gamma_w \cdot (I - \nabla d_{bg})}$$

Siendo:

$\theta_{TC}$  = Ángulo de balance del buque ocasionado por la acción de la corriente transversal.

$F_{TC}$  = Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante de la acción de la corriente sobre él

$d_{cg}$  = Distancia vertical entre la línea de acción de  $F_{TC}$  y el centro de gravedad del barco.

$\gamma_w$  = Pero específico del agua

$I$  = Momento de inercia de la superficie de isocarena referido a su eje longitudinal. Esta superficie de isocarena podrá asimilarse a una elipse cuyo eje mayor sea la eslora

entre perpendiculares ( $L_{pp}$ ) y su eje menor la manga del buque ( $B$ ), con lo cual el Momento de Inercia tendría el siguiente valor:

$$I = \frac{\pi \cdot L_{pp} \cdot B^3}{64}$$

$\nabla$  = Desplazamiento del buque expresado en unidades de volumen

$d_{bg}$  = Distancia vertical entre el centro de gravedad de pesos y el centro de empuje (centro de gravedad del volumen sumergido) del buque que se analice

Esta distancia « $d_{bg}$ » es un valor incierto, ya que la posición del centro de gravedad de pesos puede variar mucho con el tipo de buque, el tipo de carga y la condición de carga (plena, media, lastre, etc.). No obstante lo anterior, si pudiera conocerse la situación de dicho centro de gravedad, podría utilizarse la siguiente fórmula:

$$d_{bg} = KG - D \left( 0,84 - \frac{0,33 - C_b}{0,18 + 0,87 C_b} \right)$$

en donde:

$KG$  = Altura del centro de gravedad de pesos sobre la quilla

$D$  = Calado medio del buque en las condiciones de carga que se consideren

$C_b$  = Coeficiente de bloque al calado  $D$  anterior

Para buques amarrados la resultante de la acción de la corriente será equilibrada por los tiros de las amarras o las reacciones de las defensas, con lo cual la fórmula de cálculo será la misma tomando como  $d_{cg}$  la distancia vertical entre la línea de acción de  $F_{TC}$  y la de las fuerzas de amarras o defensas que lo equilibra medida en el plano de cruzía.

El sobrecalado ( $d_c$ ) debido a estos balances se determinará para buques de casco plano mediante la expresión:

$$d_c = \frac{B \operatorname{sen} \theta_{TC}}{2}$$

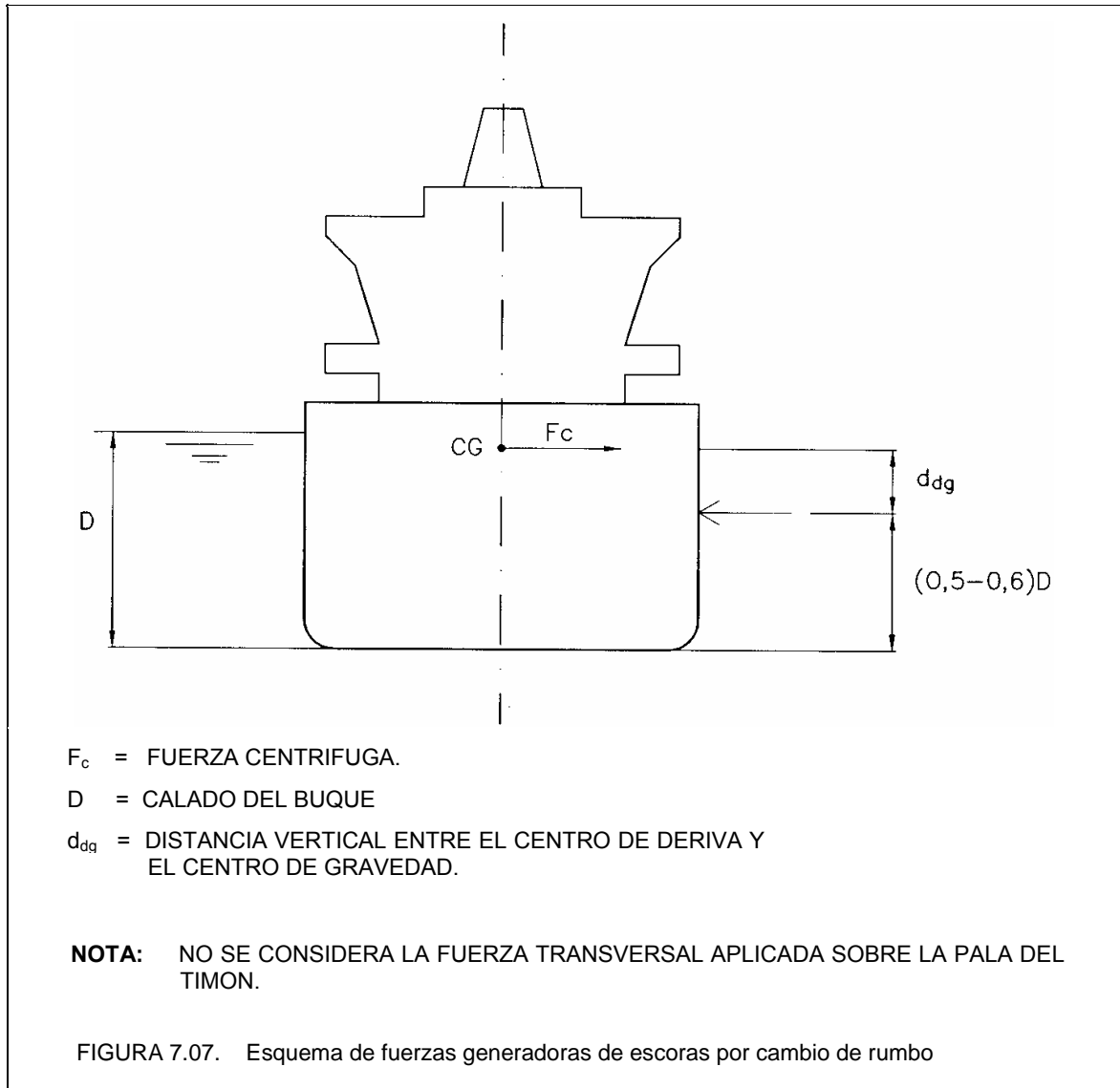
pudiendo adoptarse este valor como característico tanto en estudios determinísticos como semiprobabilísticos, dada la pequeña cuantía del mismo.

El valor de  $F_{TC}$  se evaluará con los criterios establecidos en el Capítulo IV, aplicándolos a las velocidades relativas de la corriente que se correspondan con las que se establezcan como límites de operación en el caso que se considere.

#### 7.2.3.8. ESCORAS DEL BUQUE POR CAMBIOS DE RUMBO

Los efectos de escora debidos a la actuación del timón se manifiestan mediante dos movimientos de signos opuestos. En el primer momento en que se pone timón a la banda y antes de que el buque comience a caer, el buque se escorará hacia ese costado porque el centro de presión de la pala del timón está siempre situado por debajo del centro de gravedad del barco. Normalmente este ángulo de escora inicial será pequeño. A medida que el buque comience y continúe su caída se irá desarrollando una fuerza centrífuga aplicada en el centro de gravedad del barco, de valor muy superior a la que actúa en la pala del timón y de sentido contrario, por lo que su acción no sólo anula la escora inicial sino que produce una nueva escora hacia el otro costado, es decir, hacia la banda opuesta a la de caída y de mayor amplitud que la anterior. Ver fig. 7.07.

La determinación de la escora producida por el cambio de rumbo se determinará en este segundo supuesto más desfavorable, admitiendo que las fuerzas centrífugas aplicadas en el centro de gravedad se equilibran con las fuerzas de deriva aplicadas en el centro de deriva, despreciando por tanto el efecto de la carga en la pala del timón o la componente transversal de la acción de las hélices. La contención de este par de fuerzas ocasiona un giro alrededor del eje longitudinal del buque (balance) hasta alcanzar un valor en el que al par adrizante estabilizador equilibre al momento de las fuerzas centrífugas. La importancia de este balance, y el calado adicional que requiere, son insignificantes para la mayor parte de los movimientos que se producen dentro de los puertos (excepto para



embarcaciones menores), dada la reducida velocidad de desplazamiento de los buques e incluso la actuación de otras fuerzas (tiros de amarres, actuación de remolcadores, etc.), que en general reducen el par desequilibrado; sin embargo el balance es importante en navegación exterior en donde puede llegar a alcanzar los 10/15°. Por tanto este efecto deberá ser tomado en consideración en los accesos a puertos, canales de navegación y en general donde la velocidad de desplazamiento del buque puede tomar valores apreciables.

La cuantificación de este giro de balance puede realizarse mediante la fórmula siguiente:

$$\operatorname{tg} \theta_{CR} = \frac{F_c \cdot d_{dg}}{\gamma_w \cdot (I - \nabla d_{bg})}$$

Siendo:

$\theta_{CR}$  = Ángulo de balance del buque ocasionado por la fuerza centrífuga.

$F_c$  = Fuerza centrífuga =  $\frac{M \cdot V_L^2}{R}$

$M$  = Masa del buque que comprende la masa propia y la masa de agua movilizada con él (ver apartado 3.9).

- $V_L$  = Componente de la Velocidad absoluta del buque, en el sentido longitudinal a la trayectoria  
 $R$  = Radio de curvatura de la trayectoria del buque  
 $d_{dg}$  = Distancia vertical entre el centro de deriva y el centro de gravedad  
 $\gamma_w$  = Peso específico del agua  
 $\nabla$  = Desplazamiento del buque expresado en unidades de volumen  
 $d_{dg}$  = Distancia vertical entre al centro de gravedad de pesos y el centro de empuje (centro de gravedad del volumen sumergido) del buque que se analice

Esta distancia « $d_{bg}$ » es un valor incierto, ya que la posición del centro de gravedad de pesos puede variar mucho con el tipo de buque, el tipo de carga y la condición de carga (plena, media, lastre, etc.). No obstante lo anterior, si pudiera conocerse la situación de dicho centro de gravedad, podría utilizarse la siguiente fórmula:

$$d_{bg} = KG - D \left( 0,84 - \frac{0,33 \cdot C_b}{0,18 + 0,87 C_b} \right)$$

en donde:

- $KG$  = Altura del centro de gravedad de pesos sobre la quilla  
 $D$  = Calado medio del buque en las condiciones de carga que se consideren  
 $C_b$  = Coeficiente de bloque al calado  $D$  anterior  
 $I$  = Momento de inercia de la superficie de isocarena referido a su eje longitudinal. Esta superficie de isocarena podría asimilarse a una elipse cuyo eje mayor sea la eslora entre perpendiculares ( $L_{pp}$ ) y su eje menor la manga del buque ( $B$ ), con lo cual el Momento de Inercia tendría la expresión:

$$I = \frac{\pi \cdot L_{pp} \cdot B^3}{64}$$

El sobrecalado debido a este balance se determinará para buques de casco plano mediante la expresión ( $d_r$ ).

$$d_r = \frac{B \text{sen } \theta_{CR}}{2}$$

pudiendo adoptarse este valor como característico tanto en estudios determinísticos como semiprobabilísticos, dada la naturaleza de las variables que intervienen en su evaluación.

#### 7.2.3.9. RESGUARDO PARA SEGURIDAD Y CONTROL DE MANIOBRABILIDAD DEL BUQUE

El resguardo para seguridad y control de la maniobrabilidad del buque ( $rv_{sm}$ ) es 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. Para su determinación se tomarán los valores indicados en la Tabla 7.2, en los que se ha supuesto que siempre se cuenta con el Margen de Seguridad ( $rv_{sd}$ ) especificado en el artículo 7.2.3.10, por lo que en ningún caso podrán aceptarse valores de « $rv_{sm} + rv_{sd}$ » inferiores a los que se indica en dicha Tabla, medidos en la crujía del buque (Ver apartado 7.2.3.11).

Estos valores se tomarán como característicos tanto si el estudio se realiza por métodos determinísticos como semiprobabilísticos.

#### 7.2.3.10. MARGEN DE SEGURIDAD

El margen de seguridad ( $rv_{sd}$ ) es el resguardo vertical libre que deberá quedar siempre disponible entre el casco del buque y el fondo. Para su determinación se tomarán los valores indicados en la Tabla 7.2 que tienden a minimizar el riesgo de contacto del barco con el fondo atendiendo a la naturaleza de éste. Este margen de seguridad deberá tomarse

<b>TABLA 7.2. RESGUARDOS PARA SEGURIDAD Y CONTROL DE LA MANIOBRABILIDAD DEL BUQUE (<math>rV_{sm}</math>) Y MARGEN DE SEGURIDAD (<math>rV_{sd}</math>)</b>			
	$rV_{sm}$	$rV_{sd}$	$rV_{sm} + rV_{sd}$
<b>1. Buques de gran desplazamiento (&gt; 30.000 t)</b>			
— Navegación sobre fondos limosos o arenosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,60 m	0,30 m	0,90 m
• Velocidad del buque limitada ( $\leq$ 8 nudos)	0,30 m	0,30 m	0,60 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,30 m	0,30 m
— Navegación sobre fondos rocosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,60 m	0,60 m	1,20 m
• Velocidad del buque limitada ( $\leq$ 8 nudos)	0,30 m	0,60 m	0,90 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,60 m	0,60 m
<b>2. Buques de mediano y pequeño desplazamiento (<math>\leq</math> 10.000 t, excepto embarcaciones menores, deportivas y pesqueros)</b>			
— Navegación sobre fondos limosos o arenosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,30 m	0,30 m	0,60 m
• Velocidad del buque limitada ( $\leq$ 8 nudos)	0,20 m	0,30 m	0,50 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,30 m	0,30 m
— Navegación sobre fondos rocosos			
• Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0,30 m	0,60 m	0,90 m
• Velocidad del buque limitada ( $\leq$ 8 nudos)	0,20 m	0,60 m	0,80 m
• Buque parado (muelles, atraques, etc.)	0,00 m	0,60 m	0,60 m
<b>3. Buques de desplazamientos comprendidos entre 10.000 y 30.000 t.</b>			
— Interpolación linealmente en función del desplazamiento indicado en los apartados 1 y 2			
<b>4. Embarcaciones menores, deportivas y pesqueros</b>			
— 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 ( $\leq$ 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 ( $\leq$ 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

siempre en consideración, tanto si se utilizan métodos determinísticos como semiprobabilísticos, tal como se especifica en el apartado 2.5.

A efectos de la aplicación de los criterios de la Tabla 7.2 se entenderá que en el caso de muelles cimentados sobre banquetas de escolleras, o con bloques o zarpas situadas por delante del paramento exterior del muelle, se trata de fondos rocosos.

En la presente Recomendación no se establecen resguardos adicionales atendiendo al tipo de buques o a la naturaleza de la carga, ya que se considera que la navegación debe ser igualmente segura en todos los casos. En el supuesto de que en algún caso particu-

lar se desee adoptar precauciones adicionales de seguridad al respecto, se recomienda adoptar condiciones de operación más restrictivas para determinados tipos de buques (p.e. velocidad límite del viento más reducida), en lugar de incrementar las exigencias de un mayor calado.

### 7.2.3.11. COMPROBACIONES A REALIZAR REFERENTES A LOS FACTORES RELACIONADOS CON EL BUQUE

Para determinar la cota más baja que puede alcanzar el buque, incluidos los resguardos para la seguridad y control de la maniobrabilidad y el margen de seguridad, en relación con el nivel de las aguas de referencias (que se analiza en el apartado 7.2.4) se efectuarán las valoraciones siguientes, tomándose la más desfavorable de las dos:

— Determinación en la crujía del buque:

$$H_1 = D_e + d_s + d_q + d_t + 0.7 d_w + rv_{sm} + rv_{sd}$$

— Determinación en las bandas de babor o estribor del buque:

$$H_1 = D_e + d_s + d_q + d_t + d_w + d_v + d_c + d_r + 0.7 \cdot rv_{sm} + rv_{sd}$$

en donde las distintas variables tienen el significado definido en los párrafos anteriores.

Para los estudios realizados por métodos determinísticos se dispondrá de valores concretos de  $H_1$  asociados a los buques más desfavorables (Buque de Diseño). Para los estudios realizados por métodos semiprobabilísticos los valores de  $H_1$  dependerán de las probabilidades de excedencia del oleaje máximo (« $\mu$ », según Nota 1 de Tabla 7.1), lo que permitirá efectuar un análisis de mayor precisión en función de los Riesgos máximos asumibles, las características de la flota, el tráfico previsible y otros factores específicos del Area que se analice, según el procedimiento general descrito en el apartado 2.5, en el que « $\mu$ » es la probabilidad  $p_{ij}$  de que la cota más baja de un buque del tipo « $i$ » en las condiciones de operatividad del intervalo « $j$ » llegue a alcanzar el valor  $H_1$ .

## 7.2.4. FACTORES RELACIONADOS CON EL NIVEL DE LAS AGUAS

Para la determinación del nivel de las aguas en las que se encuentra el buque deberán analizarse y conocerse previamente los siguientes factores:

### 7.2.4.1. MAREA ASTRONÓMICA

**7.2.4.1.1.** La marea astronómica es un movimiento periódico y alternativo de ascenso y descenso de las aguas del mar, producido por las acciones atractivas del Sol, la Luna y otros astros y que se repite con periodicidad (en las costas de España, como media, cada 12 horas y 24 minutos). El método más sencillo de representar gráficamente este movimiento periódico del nivel de las aguas es trazando una curva que tenga por abscisas los tiempos y por ordenadas las alturas a partir de una cota considerada como el cero. Estas curvas son fáciles de trazar por medio de las escalas de marea y las dan trazadas los mareógrafos. Las curvas de marea tienen en general formas irregulares que hacen difícil su representación mediante expresiones matemáticas sencillas; no obstante, para las costas españolas puede simplificarse su análisis, suponiendo que cada onda de marea responde a un perfil senoidal de período  $T_m = 12^h 24^m$  y de amplitud variable en función del Coeficiente de Marea « $C$ » (En todos los puertos españoles con marea se dispone de Anuarios y Tabla de Mareas, en los que se define la forma exacta de la onda de marea, sin necesidad de recurrir a esta aproximación mediante la función senoidal, por lo que el conocimiento de los niveles de agua relacionados con las mareas no entrañan ninguna incertidumbre).

La determinación de la amplitud de la onda se realiza mediante el Coeficiente de Marea « $C$ » que está referido a una unidad de comparación invariable para cada puerto, denominada Unidad de altura «U.A.», que es la altura de la marea sobre el nivel medio del mar los días de mareas vivas equinociales, cuando la declinación de la Luna es nula y ésta y el Sol están a sus distancias medias a la Tierra. Con este sistema de definición la unidad de altura U.A. es la semiamplitud, en metros, de la media de las mareas vivas equinociales, a la que corresponde un coeficiente de Marea  $C = 100$ .

El coeficiente de Marea tiene valores comprendidos entre 118 y 26, que son sus valores extremos, correspondiendo el primero a las grandes mareas vivas equinociales y el segundo a las mareas muertas de los solsticios. Tanto el valor diario de los coeficientes  $C$

como las Unidades de Altura de los diferentes puertos están recogidos en las Tablas y Anuarios de Mareas correspondientes, lo que permite fácilmente conocer la semiamplitud de cada onda de marea mediante la expresión:

$$AMC = U.A. \cdot \frac{C}{100}$$

Por tanto, si las cartas náuticas están referidas al nivel medio del mar en el punto que se considere, la BMVE estaría situada a la cota:

$$BMVE = - U.A. \cdot \frac{118}{100}$$

Si como es más frecuente en los puertos de marea españoles las cartas náuticas están referidas a la BMVE, el nivel medio quedaría situado a la 1, 18 UA y la PMVE a la cota:

$$PMVE = - U.A. \cdot \frac{118}{100}$$

En este caso de estar las cartas náuticas referidas a la BMVE, la Pleamar y Bajamar correspondientes a una onda de marea de coeficiente C estarían situadas respectivamente a las cotas:

$$PM_c = U.A. \cdot \left( 1,18 + \frac{C}{100} \right)$$

$$BM_c = U.A. \cdot \left( 1,18 + \frac{C}{100} \right)$$

Dado que otras cartas náuticas de uso habitual en el ámbito internacional (Almirantazgo, USA, etc.) no están referidas a la BMVE, se recomienda identificar perfectamente e Nivel de referencia de las cartas que estén disponibles, previamente a la utilización de las mismas.

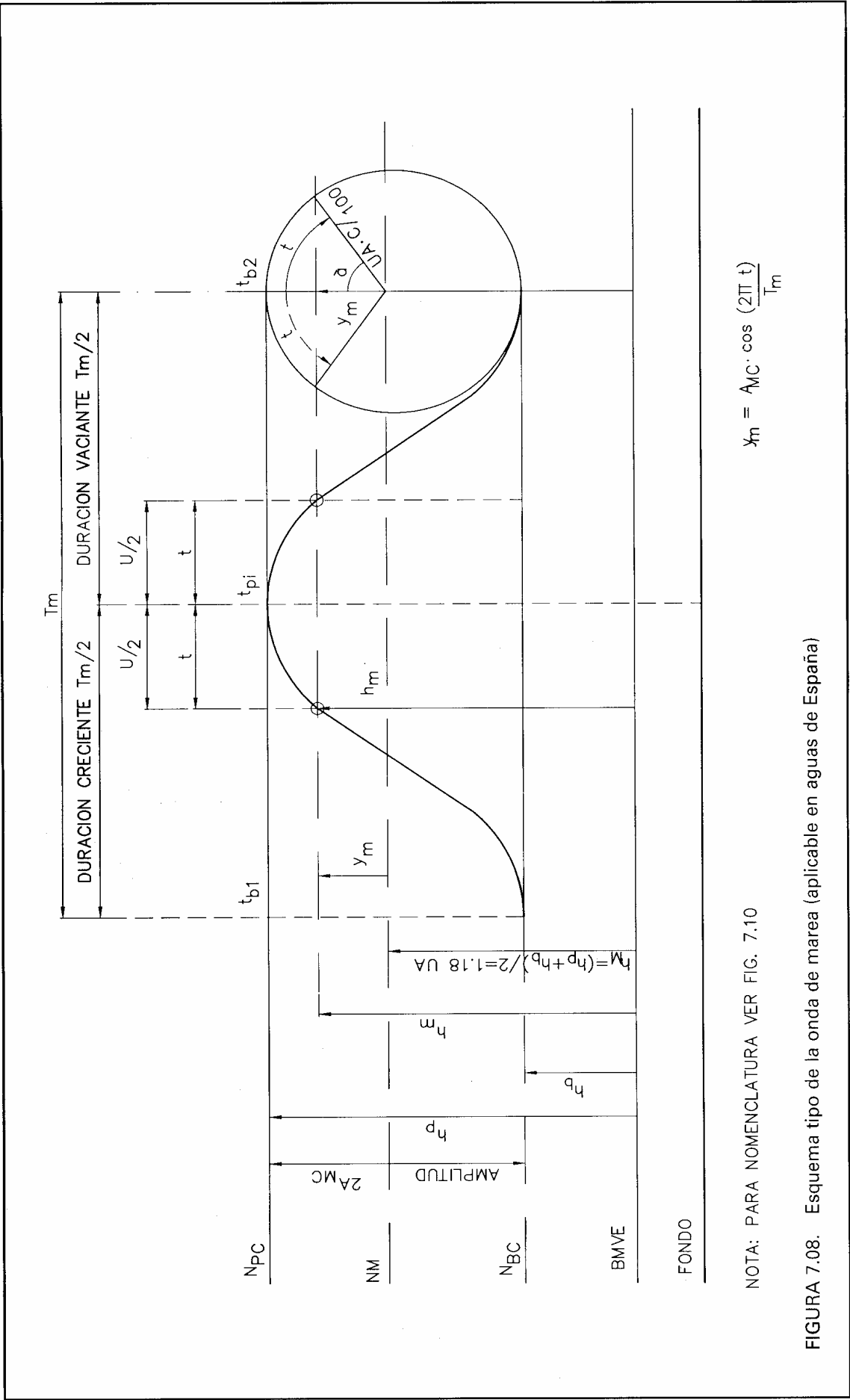
Se hace notar que, con independencia de cuál sea el nivel que se utilice como referencia para las cartas náuticas, e Nivel «Cero» del Puerto o Area que se considere no coincide habitualmente con el cero de las cartas náuticas, ni con el de los planos topográficos de ámbito general, lo que produce un decalaje entre las cotas topográficas referidas al «cero» del Area, las batimétricas y las cotas topográficas de ámbito general, razón por la que se recomienda investigar con carácter previo estos tres niveles de referencia para evitar confusiones posteriores.

Supuesta una onda de marea de coeficiente C y admitiendo la simplificación senoidal de su perfil, resultaría la representación gráfica que se esquematiza en la fig. 7.08, que permite conocer la altura de agua en ese punto y en cada momento debido a la actuación de la marea astronómica.

En el caso de tratarse de mares y lagos interiores las mareas astronómicas pueden estudiarse de un modo similar, si bien el fenómeno físico puede resultar alterado por las menores dimensiones de estos espacios, pudiendo llegar a hacer desaparecer la oscilación de la marea.

En los ríos, el Sol, la Luna y otros astros no producen, en general, mareas sensibles, pero en cambio de las ondas de marea del mar en que desembocan derivan otras que avanzan río arriba, produciendo oscilaciones en el nivel de las aguas, cuya amplitud va reduciéndose hasta anularse en el denominado «límite de marea». Este fenómeno se ve influido por el propio caudal del río, dando lugar a un régimen complejo específico de cada caso que no puede generalizarse para otras corrientes fluviales.

**7.2.4.1.2.** La presencia de ondas de marea en un Area de Flotación o de Navegación significa que los calados reales disponibles varían a lo largo del tiempo, existiendo períodos de tiempo de aguas altas («ventanas») en los cuales la profundidad de agua disponible permitiría efectuar maniobras y operaciones náuticas que, sin embargo, no podrían ser realizadas en períodos de aguas bajas. La adopción de un nivel de agua de referencia más bajo significa que las «ventanas» en las que permanece operativa el Area de Flotación o



$$y_m = A_{Mc} \cdot \cos \left( \frac{2\pi t}{T_m} \right)$$

NOTA: PARA NOMENCLATURA VER FIG. 7.10

FIGURA 7.08. Esquema tipo de la onda de marea (aplicable en aguas de España)



Navegación son mayores, pero en contrapartida se incrementan las profundidades de agua requeridas. En el supuesto de que el nivel de referencia se situase en la BMVE, significaría que el Area permanecería permanentemente abierta, al menos por lo que a este parámetro se refiere; en general y tratándose de zonas con carrera de marea la condición anterior puede resultar excesiva al menos para áreas de buques en tránsito, para las que podrían adoptarse niveles de referencia algo más elevados que la BMVE, de manera que se llegase a un punto de equilibrio entre el volumen de la inversión requerida para aumentar y mantener la profundidad de agua, el tráfico previsto de los buques especialmente los de mayores calados y los porcentajes de cierre del Area a la navegación ocasionados por las limitaciones que se impongan a los calados.

En el supuesto de que la maniobra que se analice afecte a una sola zona con dimensiones inferiores a 5 km (boca de puerto, dársena, muelle, etc.), la onda de marea se considerará representativa de todos los puntos; si por el contrario se estuviese analizando un Area con una dimensión longitudinal apreciable ( $\geq 5$  km), tal como pudiera ser un canal de navegación, podría resultar que la Onda de Marea fuera diferente en los diferentes puntos del Area, o al menos que se presentase con un retraso temporal entre unos puntos y otros, tal como se esquematiza en la fig. 7.09. Puede apreciarse en este caso que la anchura temporal de la ventana que define el tiempo operativo para la maniobra que se analice, puede resultar reducida o aumentada en relación con la Onda de Marea sin decalaje.

Con objeto de facilitar el cálculo de la anchura de una «ventana» correspondiente a un nivel de agua predefinido, para una Onda de Marea de Coeficiente  $C$ , se recomienda elaborar un gráfico adimensional del tipo representado en la fig. 7.10, que corresponde al supuesto aplicable a las costas españolas en las que se puede aproximar la forma de la Onda de marea mediante la función senoidal. En estas hipótesis todas las ondas de marea en coordenadas adimensionales son coincidentes, lo que facilita el cálculo tal como se expone en dicha figura. En el supuesto de tratarse de una zona representada por dos Ondas de Marea decaladas temporalmente habría que desplazar la curva representativa de todas las Ondas de Marea, hacia la izquierda o derecha según proceda, en la misma cuantía del tiempo de decalaje entre ambas Ondas.

Se hace notar que la anchura de una ventana representa el tiempo durante el cual se dispone de un nivel de agua igual o superior al predefinido, es decir, es el tiempo operativo para la realización de la maniobra del buque que precise disponer de ese nivel de agua; sin embargo no es el tiempo operativo eficaz ya que habrá que descontar del mismo el tiempo necesario para la realización de la maniobra. Para el caso representado en la fig. 7.09 sería necesario contar con el tiempo necesario para la navegación desde el arranque hasta el final del tramo, para conocer cuál es el tiempo realmente eficaz para poder iniciar la maniobra con la seguridad de terminarla en los plazos disponibles con suficiente nivel de agua. Para la determinación de estos tiempos operativos eficaces se considerará en todos los casos que la maniobra se realiza con la menor velocidad posible compatible con los criterios de explotación del tramo que se analice.

Conocida la forma de la Onda de Marea para cualquier Coeficiente  $C$  y sabida la distribución media anual de las mareas en un Area, en función de sus correspondientes coeficientes de marea (para lo cual bastaría con disponer de los Anuarios o Tablas de Marea durante un mínimo de 3 años consecutivos), podrían obtenerse curvas como la representada en la fig. 7.11, que definen la probabilidad de disponer de un nivel de agua determinado en función de dicho nivel, o lo que es lo mismo el tiempo medio anual operativo de todas las «ventanas» correspondientes a un nivel de agua prefijada, información que facilita la realización de estudios económicos para la selección del nivel de agua que se fije para la operación de los buques. La elaboración de estas curvas sería innecesaria si se disponen de los Regímenes Medios de Frecuencias acumuladas de presentación de niveles de agua asociados a las mareas, en la zona objeto de análisis.

#### **7.2.4.2. MAREA METEOROLOGICA**

Se incluyen en este concepto los cambios en la altura de agua debidos a variaciones de la presión atmosférica, así como los producidos por la acción del viento. La atmósfera no ejerce una presión uniforme sobre la superficie de las aguas; una disminución de la presión en un punto dado implica una subida del nivel del agua y, por el contrario, un incremento supone un descenso. Estas variaciones son imperceptibles cuando el barómetro sube y baja con relativa rapidez, pero cuando se mantiene largamente un régimen de presiones altas o bajas, el nivel de las aguas desciende o sube. La correlación entre estas variaciones del nivel de las aguas y el régimen de presiones no es elemental ya que la configuración de la costa influye en el libre curso de la corriente que se origina a causa del desnivel de las aguas. Los vientos también tienen influencia sobre el nivel de las aguas, ya que cuando son persistentes en una misma dirección media, producen corrientes, lo

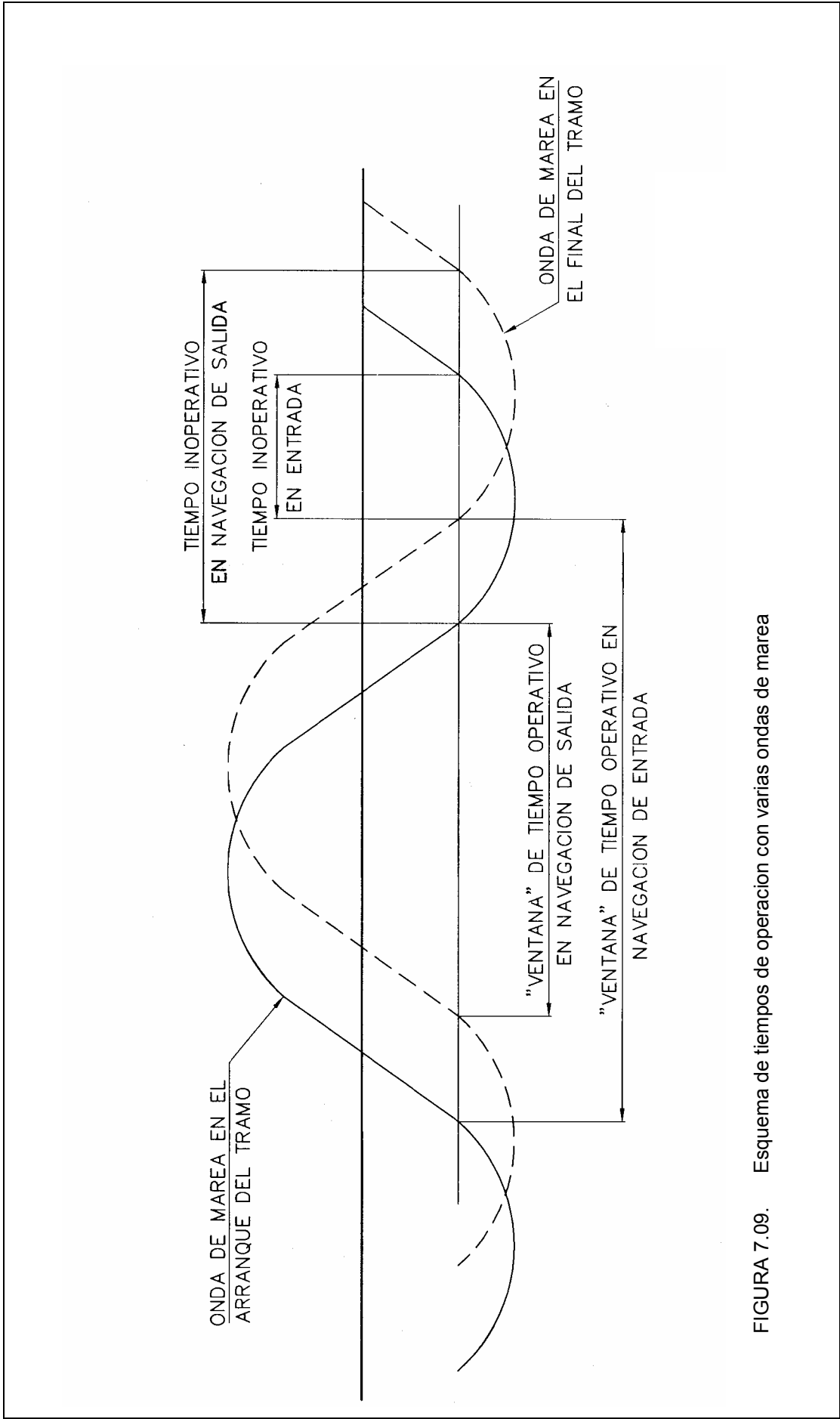
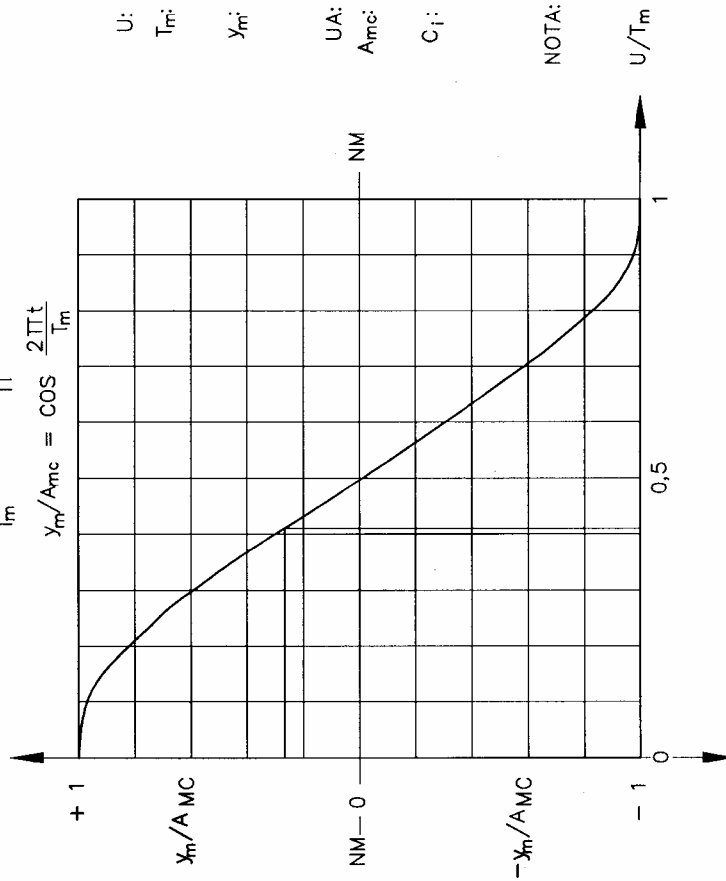


FIGURA 7.09. Esquema de tiempos de operacion con varias ondas de marea

$$\frac{U}{T_m} = \frac{\arccos \left( \frac{y_m}{A_{mc}} \right)}{\pi}$$

$$\frac{y_m}{A_{mc}} = \cos \frac{2\pi t}{T_m}$$



U: ANCHURA TEMPORAL DE UNA VENTANA.

$T_m$ : PERIODO DE LA MAREA.

$$T_m = t_{p2} - t_{p1} = t_{b2} - t_{b1}$$

$y_m$ : ALTURA DE LA MAREA SOBRE EL NIVEL MEDIO (NM)

$$y_m = h_m - h_M$$

UA: UNIDAD DE ALTURA

$A_{mc}$ : SEMIAMPLITUD DE LA MAREA DE

COEFICIENTE  $C=UA \cdot C$

$C_1$ : COEFICIENTE DE LA MAREA QUE ABARCA LA VENTANA

NOTA: CURVA CORRESPONDIENTE A UN PERFIL SINUSOIDAL

EJEMPLO: CALCULAR LA ANCHURA DE LA VENTANA CORRESPONDIENTE A UNA ALTURA EN EL MOMENTO

$h_m=5.60$ , EN UN PUERTO DE  $UA=4$  mts. CON UNA MAREA DE  $C=0.8$  Y  $T_m=12^h 30^m$

$y_m = h_m - h_M = 5.60 - 1.18 \times U = 0.88$

$y_m/A_c = 0.88/4 = 0.22$

$U/T_m = 0.41$      $U = 0.41 \times 12.5^h = 5.14$      $U = 5^h 8^m$

FIGURA 7.10. Gráfico adimensional para el cálculo de la anchura de una <<ventana>> en una onda de marea

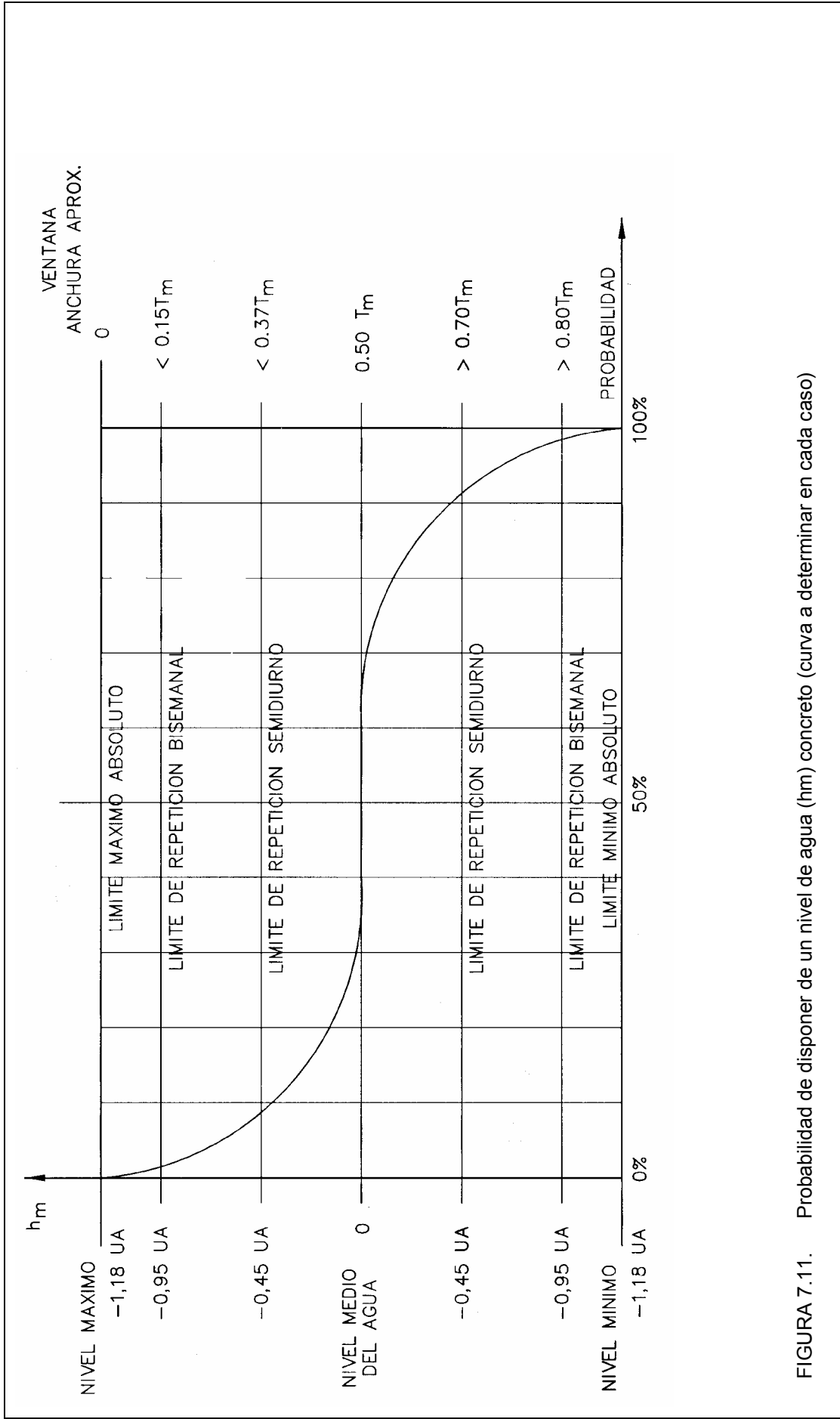


FIGURA 7.11. Probabilidad de disponer de un nivel de agua (hm) concreto (curva a determinar en cada caso)

que implica una elevación del nivel en la zona hacia donde se dirige la corriente y una depresión en la zona de donde viene.

A falta de estudios específicos para el emplazamiento que se considere que analicen de forma conjunta los regímenes de presentación de los niveles de las aguas ocasionadas por las mareas astronómicas y meteorológicas, se recomienda seguir el método determinístico, adoptando en todos los puertos y costas de España que presenten marea astronómica significativa (U.A. > 0,50 m), un valor de la marea meteorológica con elevaciones del nivel del agua de +0,50 m y descensos de -0,30 m, cifras que representan aproximadamente el 70% de sus valores máximos y son por tanto el «Valor de combinación» de esta variable, supuesto por tanto que la marea astronómica sea la variable de efecto predominante. Esta consideración de la marea meteorológica supondría desplazar hacia abajo la curva de las mareas astronómicas en 0,30 m. cuando se trate de analizar profundidades de agua y subir dicha curva en 0,50 m. cuando lo que se analicen sean elevaciones de muelles y gálibos aéreos. Ver apartados 7.3 y 7.4. Esta simplificación supone también que las condiciones meteorológicas permanecen constantes durante toda la curva de marea.

En el caso de disponer de datos estadísticos del nivel de las aguas, se adoptarán como Niveles máximo y mínimo esperables de las Ondas de Mareas conjuntas los valores extremos asociados al máximo riesgo admisible, para el que se adoptará un valor de 0,10 a falta de consideraciones específicas. En este caso los estudios de optimización para seleccionar el Nivel de las aguas de referencia para la operación de los buques, que se recomiendan en este capítulo relacionados con el análisis de la Onda de Marea, se sustituirán por el estudio de los Regímenes Medios de presentación del nivel de las aguas. Se hace notar que el riesgo aquí establecido para fijar los Niveles Máximo y Mínimo se refiere exclusivamente a la probabilidad de presentación de unos u otros niveles de agua y no coincide por tanto con los especificados en la Tabla 2.2 que presuponen la utilización de estos espacios por los buques.

Para los puertos y costas sin marea astronómica significativa (U.A.  $\leq$  0,50 m) las mareas astronómica y meteorológica pueden ser equivalentes, por lo que, salvo que se disponga de los regímenes medios y extremos de presentación del nivel de las aguas en que se seguirán los criterios expuestos en el apartado anterior, se recomienda considerar ambos efectos como una sola onda que tendrá sus valores máximos (PMVE equivalentes) a la cota +1,00 m y sus valores mínimos (BMVE equivalente) a la cota -0,80 m, medidos ambos sobre el Nivel Medio de Mar en la zona. En cualquier caso, en estos puertos sin marea astronómica significativa se recomienda omitir el estudio de optimización del nivel de referencia de las aguas, que se describe en el apartado 7.2.4.7, considerando que este nivel se sitúa en la cota más baja, es decir, -0,80 m por debajo del Nivel Medio de las aguas para operaciones que conlleven permanencia de buques (muelles, atraques, dársenas, etc.) y a la cota -0,60 m por debajo del Nivel Medio de las aguas para operaciones de buques en tránsito (canales, accesos, áreas de maniobras, etc.). Ver apartado 7.2.4.6.

#### **7.2.4.3. RESONANCIAS POR FENOMENOS DE ONDAS LARGAS**

En recintos confinados naturales (bahías) o artificiales (dársenas) se tendrá especial cuidado en comprobar la posibilidad de fenómenos de resonancia debidos a la penetración de ondas largas. En este caso, cuando hay coincidencia de periodos, podrían presentarse alteraciones de niveles de hasta 3,00 m sobre los previstos, por lo que su efecto podría ser de gran trascendencia. Para evitar este supuesto se recomienda adoptar medidas correctoras que impidan que se produzca.

#### **7.2.4.4 REGIMENES FLUVIALES**

En el caso de que las Areas de Navegación o Flotación estén afectadas por cauces fluviales deberá tomarse en consideración el régimen hidráulico correspondiente. En el supuesto de que se disponga de datos estadísticos conjuntos del nivel de las aguas que incorporen la influencia de las mareas y del régimen hidráulico, se adoptarán como valores mínimos y máximos esperables los valores extremos asociados al máximo riesgo admisible, para el que se tomará un valor de 0,10 a falta de consideraciones específicas. En este caso los estudios de optimización para seleccionar el Nivel de las aguas de referencia para la operación de buques, que se recomiendan en este capítulo relacionado con la Onda de Marea, se sustituirán por el estudio de los Regímenes Medios de presentación del nivel de las aguas. En el caso de no disponerse de esta base estadística conjunta se considerará como nivel mínimo de las aguas el valor más bajo resultante de situar las ondas

de marea astronómica y meteorológica centradas en el Nivel del régimen fluvial correspondiente a un riesgo admisible de 0,50 en el Régimen extremal de los Mínimos anuales del régimen fluvial ( $N_{min} RH$ ) y como nivel máximo de las aguas el valor más alto resultante de situar las ondas de marea astronómica y meteorológica centradas con el Nivel del régimen fluvial correspondiente a un riesgo admisible de 0,50 en el Régimen extremal de los Máximos anuales del régimen fluvial ( $N_{max} RH$ ). En este caso los estudios de optimización para seleccionar el nivel de las aguas de referencia para la operación de buques, que se recogen en este capítulo relacionadas con la Onda de Marea, se sustituirán por el estudio del Régimen medio de presentación del nivel de las aguas, que deberá elaborarse combinando el régimen medio hidráulico con el régimen medio de las mareas suponiendo que son fenómenos independientes.

En el caso de que se trate de Áreas sin marea astronómica significativa (U.A. < 0,50 m) en las que el régimen hidráulico tenga una carrera ( $N_{max} RH - N_{min} RH$ ) igual o menor a 1,00, se recomienda omitir el estudio de optimización que se describe en el apartado 7.2.4.7, situando el nivel de referencia de las aguas a una cota -0,80 m por debajo del  $N_{min} RH$  para operaciones que conlleven permanencia de buques (muelles, atraques, dársenas, etc.) y a la cota -0,60 m por debajo del  $N_{min} RH$  para operaciones de buques en tránsito (canales, accesos, áreas de maniobras, etc.). Estas cifras están determinadas suponiendo que existe marea astronómica y meteorológica; en el caso de que sólo exista marea astronómica se tomarán -0,50 y -0,30 respectivamente. En consecuencia, en el caso de que la corriente fluvial no esté afectada por ningún tipo de mareas el nivel de referencia para la determinación de las profundidades del agua quedaría situado al nivel  $N_{min} RH$ .

#### **7.2.4.5. ESCLUSAS Y DARSENAS ESCLUSADAS**

En el caso de que las áreas de navegación estén situadas en esclusas o dársenas esclusadas se considerarán los niveles máximo y mínimo de agua que vengan impuestos por sus condiciones de explotación.

Para el caso de las esclusas y en el supuesto habitual de que la propia esclusa no constituya una limitación a la navegación, se considerarán aplicables a los niveles mínimos de agua los mismos condicionantes que existan aguas abajo de la esclusa. Para los niveles máximos de agua se considerarán los condicionantes más desfavorables que puedan presentarse aguas arriba o aguas abajo de la esclusa. En el supuesto de dársenas esclusadas el nivel de agua de referencia en el interior de la dársena deberá optimizarse atendiendo a los costos de realización y mantenimiento del dragado, en relación con los volúmenes previsibles de tráfico y el costo de las esperas que puedan presentarse.

#### **7.2.4.6. NIVEL DE AGUA DE REFERENCIA**

La determinación del Nivel de las aguas en las que se sitúe el buque, a partir del cual se contabilizarán las profundidades de agua requeridas por él, incluyendo resguardos y Márgenes de Seguridad, depende fundamentalmente del grado de operatividad con que se quiera dotar al Área que se analice. En el supuesto de que se quisiera que el Área estuviera permanentemente operativa, al menos por lo que a estos parámetros se refiere, bastaría con fijar el Nivel de las aguas de referencia en los valores extremos más bajos previsibles; a este criterio de diseño corresponde las recomendaciones efectuadas en los apartados anteriores, que seleccionan estos niveles mínimos extremos en los casos en los que las variaciones máximas del nivel de las aguas, medidas como diferencia entre los Niveles extremos de aguas altas y aguas bajas, sean poco importantes. Si las variaciones del nivel de las aguas fueran mayores se recomienda efectuar un estudio de optimización, al menos para las Áreas de buques en tránsito, dado que podría conseguirse una economía significativa con una pequeña merma de operatividad.

Como resumen de lo anteriormente expuesto se recogen en la Tabla 7.3 las recomendaciones sobre los niveles de agua a adoptar para las diferentes Áreas de Navegación o Flotación objeto de esta ROM. La expresión «optimizable» que se utiliza en dicha tabla significa que se podrán adoptar niveles de agua más elevados que los valores extremos mínimos esperables, siguiendo el procedimiento que se describe en el apartado 7.2.4.7.

Según puede observarse en dicha Tabla, en todas las Áreas donde se prevé la permanencia de buques (fondeaderos, dársenas, muelles, etc.) se ha optado, salvo en el caso de dársenas esclusadas, por fijar el nivel de referencia de las aguas en valores extremos asociados a riesgos de presentación muy reducidos, es decir, se pretende que estas áreas estén permanentemente operativas por lo que a estos factores se refiere; sin embargo para las Áreas de buques en tránsito se ha optado, salvo en casos de carreras de marea o de regímenes hidráulicos reducidos, por seleccionar un nivel de aguas «optimizable» en función de la operatividad/economía de la instalación que se considere.

TABLA 7.3. NIVEL DE REFERENCIA DE LAS AGUAS PARA DETERMINAR LA PROFUNDIDAD		
Características del área	Area de buques en tránsito	Area de buques en permanencia
<p>A. Zonas con marea astronómica significativa (U.A. <math>\geq 0,50</math> m)</p> <p>— Sin regímenes fluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul> <p>— Con regímenes fluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul>	<p>Optimizable Optimizable desplazando la curva de mareas -0,30 m</p> <p>Optimizable Optimizable</p>	<p>BMVE BMVE -0,30 m</p> <p>Mínimo extremal. Riesgo: 0,10 Mínimo extremal. Riesgo: 0,10</p>
<p>B. Zonas con marea astronómica no significativa (U.A. <math>\leq 0,50</math> m)</p> <p>— Sin regímenes fluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul> <p>— Con regímenes fluviales no significativos (<math>N_{maxRH} - N_{minRH} \leq 1,00</math> m)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul> <p>— Con regímenes fluviales significativos (<math>N_{maxRH} - N_{minRH} &gt; 1,00</math> m)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul>	<p>NM-0,30 m NM-0,60 m</p> <p><math>N_{min} RH-0,30</math> m <math>N_{min} RH-0,60</math> m</p> <p>Optimizable Optimizable</p>	<p>NM-0,50 m NM-0,80 m</p> <p><math>N_{min} RH-0,50</math> m <math>N_{min} RH-0,80</math> m</p> <p>Mínimo extremal. Riesgo: 0,10 Mínimo extremal. Riesgo: 0,10</p>
C. Esclusas	Nivel aguas abajo	No aplicable
D. Dársenas esclusadas	Optimizable	Optimizable
<p>LEYENDA:</p> <p>BMVE: Bajamar mínima viva equinocial</p> <p>NM: Nivel Medio del mar = <math>\frac{PMVE + BMVE}{2}</math></p> <p>PMVE: Pleamar máxima viva equinocial</p> <p><math>N_{min} RH</math>: Nivel extremal esperable de los mínimos anuales del régimen fluvial, asociado a un riesgo admisible</p> <p><math>N_{max} RH</math>: Nivel extremal esperable de los máximos anuales del régimen fluvial, asociado a un riesgo admisible</p> <p>Area de buques en tránsito: Accesos, vías de navegación, canales, bocanas, áreas de maniobra, etc.</p> <p>Area de buques en permanencia: Fondeaderos, amarraderos, dársenas, muelles, atraques, terminales, etc.</p>		

La razón de esta diferencia de criterios es que al tránsito de los buques puede imponérsele restricciones operativas mucho más fácilmente y sin gran pérdida de calidad del servicio, que a la permanencia de los buques. No obstante si en algún caso se deseara optimizar el nivel de las aguas de las Areas de permanencia de buques, podría efectuarse de un modo similar, si bien sería necesario reflejar claramente en los Reglamentos de explotación los procedimientos a seguir para evitar daños (que podrían no ser «accidentales» dado el carácter no aleatorio de las variables que se consideran).

También puede observarse en dicha Tabla, que en algunos casos el nivel de las aguas se ha fijado por criterios deterministas en función de algunos niveles representativos de los

movimientos verticales del agua (BMVE, NM, etc.); por tanto, en estos casos, la base de datos estadísticos sería exclusivamente la necesaria para conocer tales datos representativos. En otros casos se recomienda efectuar un estudio de regímenes extremales o de regímenes medios para la optimización que, en general, obligan a disponer de un mayor volumen de información estadística.

Se hace notar que los niveles de las aguas a que se refiere esta ROM están relacionados fundamentalmente con criterios de operación y no tienen por qué coincidir con los valores extrémales ligados a criterios de diseño estructural que se recogen en otras ROM.

#### **7.2.4.7. CRITERIOS DE OPTIMIZACION DEL NIVEL DE AGUA DE REFERENCIA Y DE LA PROFUNDIDAD DE AGUA REQUERIDA**

**7.2.4.7.1.** La posibilidad de adoptar como nivel de agua de referencia para situar el buque un valor más elevado que el mínimo esperable conlleva el riesgo de que durante un cierto período de tiempo el Area de Navegación o Flotación que se analice quede fuera de servicio para los buques mayores que se consideren.

Para el caso más habitual de tratarse de un Area sometida a mareas astronómicas y suponiendo una onda de marea cualquiera representativa del nivel de las aguas en el Area que se analice, ya pudo verse en la fig. 7.08 que si las profundidades de agua estuvieran determinadas estrictamente a partir del Nivel de Agua de Referencia, el hecho de que este Nivel esté situado por encima de la bajamar significa que hay una «ventana» de tiempo durante el cual la operación es factible, mientras que en el resto del tiempo la operación no podría realizarse por defecto de la profundidad de agua requerida.

En el supuesto de tratarse de una zona de dimensión longitudinal apreciable con diferentes ondas de marea a lo largo del tramo, también pudo apreciarse en la fig. 7.09 que la ventana de tiempo operativo se establece entre las ondas de marea representativas del inicio y el final del tramo y que esta ventana tiene una duración diferente según cual sea el sentido de navegación del buque.

Los esquemas representados en las figuras 7.08 y 7.09 son los más habituales, si bien podrían considerarse otros supuestos, por ejemplo el caso relativamente frecuente de que se analizase un ciclo completo de entrada, descarga y salida del buque, en el que los requerimientos de calado podrían ser variables a lo largo del tiempo a consecuencia de la descarga.

**7.2.4.7.2.** Si el estudio se realiza no sólo para una onda de marea aislada, sino para la sucesión continuada de ondas de marea (o para el régimen hidráulico que corresponda en cada caso) podrá disponerse de una valoración de los tiempos disponibles de operación en función del nivel de agua de referencia adoptado. Los parámetros habitualmente considerados para decidir el nivel óptimo de las aguas son:

- El tiempo medio anual en que el Area permanece fuera de servicio que podrá determinarse inmediatamente si se han elaborado curvas como la representada en la fig. 7.11 o si se dispone de los Regímenes Medios Anuales de presentación de niveles de agua asociados a las mareas.
- El tiempo medio mensual, correspondiente a cada mes o al menos al mes más desfavorable, en el que el Area permanece fuera de servicio, que también podrá analizarse con facilidad si se elaboran gráficos equivalentes al de la fig.7.11 por meses o si se dispone de los Regímenes Medios mensuales de presentación de niveles de agua asociados las mareas.
- El tiempo máximo continuado esperable en el que el Area permanece fuera de servicio, para lo cual será necesario conocer la función de frecuencia de presentación o Regimen de Duraciones de la variable «tiempo inactivo continuado».

**7.2.4.7.3.** Conviene hacer notar que en el caso de tratarse de Areas sometidas exclusivamente a mareas astronómicas el nivel de agua no es una variable aleatoria, ya que puede predecirse con la anticipación que se quiera y no conlleva por tanto riesgo asociado a incertidumbre. Esta situación de incertidumbre tampoco existe en el caso de presentarse mareas meteorológicas además de las astronómicas y optarse por desplazar las curvas de marea en el valor máximo extremal esperable para la marea meteorológica, que es lo que se recomienda en las costas y Áreas españolas dada la pequeña incidencia de la marea meteorológica; será posible por tanto en este caso seguir la sistemática de valoración de tiempo de inoperatividad que se describe para el caso de Areas sometidas exclusivamente a la marea astronómica.





**TABLA 7.4. (Continuación)**

CARACTERÍSTICAS DEL AREA	Tiempos máximos de inoperatividad <sup>(1)(2)</sup> (calculados para valores de $H_1$ correspondientes a los Buques de Proyecto)	
	En horas	En n.º de veces
3. Otros puertos	200 h. año 20 h. mes 6 h. consecutivas	20 al año 2 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
4. Terminales especializados — Pasajeros, Contenedores, Ferries y otros terminales que operen con líneas regulares	100 h. año 10 h. mes 6 h. consecutivas	20 al año 2 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
— Graneles de cualquier tipo y otros terminales que no operen con líneas regulares	200 h. año 10 h mes 6 h consecutivas	20 al año 2 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
B. Areas de buques en permanencia (Fondeaderos, amarraderos, dársenas, muelles, atraques, terminales, etc.)		
1. Puertos de cualquier tipo	20 h. año 10 h. mes 6 h. consecutivas	2 al año 1 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
2. Terminales especializados — Pasajeros, Contenedores, Ferries y otros terminales que operen con líneas regulares	100 h. año 10 h. mes 6 h. consecutivas	5 al año 1 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
— Graneles de cualquier tipo y otros terminales que no operen con líneas regulares	200 h. año 20 h. mes 6 h. consecutivas	20 al año 2 al mes No 2 cierres sucesivos ininterrumpidos
<p>(1) Los tiempos de inoperatividad recogidos en esta tabla se refieren exclusivamente a los producidos por un insuficiente nivel de agua de referencia para las Condiciones Límites de Operatividad de los Buques de Proyecto, y no incluyen por tanto los cierres del Area por otras causas diferentes de ésta.</p> <p>(2) Los requerimientos mínimos recogidos en esta Tabla están basados en un porcentaje de utilización del Area por los Buques de Proyecto del 30%, calculado sobre el tiempo útil total disponible (deducido por tanto el tiempo de cierre del Area por cualquier motivo: insuficiencia del nivel de agua, clima marítimo, nocturnidad, etc.). En el supuesto de que este porcentaje de utilización del área sea igual o inferior al 20%, podrán utilizarse valores del doble de los recogidos en la Tabla; asimismo si el porcentaje de utilización del área fuese igual o superior al 40% deberán utilizarse valores de la mitad de los recogidos en la Tabla; para valores intermedios podrá interpolarse linealmente.</p> <p>(3) Los tiempos máximos de inoperatividad se calcularán para valores de <math>H_1</math> máximos correspondientes a los Buques de Proyecto de embarcaciones pesqueras y deportivas.</p>		

## 7.2.5. FACTORES RELACIONADOS CON EL FONDO

Para que la profundidad nominal de agua requerida en un Area de Navegación o Flotación puede quedar garantizada, se precisa tomar en consideración la suma de los factores siguientes ( $H_3$ ).

### 7.2.5.1. MARGEN PARA IMPRECISIONES DE LA BATIMETRIA

Se incluye en este concepto el resguardo adicional que debe preverse para cubrir las imprecisiones de la batimetría. En el estado actual de la técnica de investigación batimétrica realizada con ecosonda y sonar de barrido lateral o sistemas equivalentes puede considerarse que la precisión de los registros obtenidos es superior al 99% de la profundidad de agua existente; las imprecisiones de la batimetría no proceden normalmente del equipo de registro sino de las oscilaciones que puedan presentarse en la embarcación en la que se instalan, oscilaciones que a su vez se deben fundamentalmente al oleaje máximo que se admita durante la campaña de toma de datos y que pueden evitarse con un sistema de compensación del oleaje. Suponiendo que este oleaje está limitado a olas de 0,50 m de altura significativa en aguas exteriores y en 0,25 m en aguas interiores, pueden considerarse los márgenes siguientes:

	Con sistemas de Compensación del oleaje	Sin sistemas de Compensación del oleaje
— Aguas exteriores	1 % de la profundidad de agua	0,25 m + 1 % de la profundidad de agua
— Aguas interiores	1% de la profundidad de agua	0,10 m + 1 % de la profundidad de agua

En el supuesto de que la batimetría no esté realizada con sonar de barrido lateral o sistema equivalente que permita la localización de posibles puntos altos entre dos líneas registradas con el ecosonda no podrían seguirse los criterios anteriores. Para evitar los riesgos que se podrían derivar para la navegación en estos supuestos, se recomienda disponer de una batimetría precisa controlada con sonar de barrido total en todas las áreas de navegación en las que la profundidad de agua sea estricta en relación con los buques mayores que naveguen por ellas. Se entenderán como profundidades de agua estrictas los inferiores al 150% del buque más desfavorable a plena carga cuando se trata de fondos limosos o arenosos y los inferiores al 200% cuando se trata de fondos rocosos.

### 7.2.5.2. DEPOSITO DE SEDIMENTOS ENTRE DOS CAMPAÑAS DE DRAGADO

La profundidad de agua adicional que deberá preverse para los aterramientos que se puedan producir entre dos campañas de dragado dependerá de la dinámica litoral o fluvial del emplazamiento que se considere y del tiempo que transcurran entre dos campañas sucesivas de dragado. Este fenómeno deberá tomarse especialmente en consideración en el caso de cauces fluviales o cuando se trate de tramos de costa sometidos a transportes transversales o longitudinales de sedimentos de cuantía apreciable. A falta de estudios de dinámica litoral o fluvial se recomienda efectuar como mínimo previsiones basadas en la evolución histórica de las profundidades de agua, estableciendo mediciones periódicas de contraste para garantizar que las previsiones no son superadas.

### 7.2.5.3 TOLERANCIA DE EJECUCION DEL DRAGADO

La tolerancia de ejecución del dragado depende fundamentalmente de las características de los suelos, del equipo de dragado utilizado y de las condiciones medioambientales límites en las que se permite la operación de estos equipos. A título indicativo se recomienda adoptar tolerancias de 0,30 m para suelos blandos y 0,50 m para terrenos de naturaleza rocosa.

Esta profundidad de agua adicional no se tomará en consideración en el supuesto de que en el proyecto y ejecución de las obras de dragado no se admitan tolerancias por defecto, ya que en estos casos el control de calidad de las obras de dragado deberá garantizar que no quedan puntos por encima de la cota requerida.

## 7.2.6 PROCEDIMIENTOS EMPIRICOS

Para su aplicación exclusiva en estudios previos se recogen en el presente apartado unos criterios empíricos de uso habitual que cuantifican los factores relacionados con el buque incluyendo su propio calado y los Márgenes de Seguridad ( $H_7$ ) en función de las caracterís -

ticas del Area de Flotación que se analice y del calado (C) del buque que se considere.

	<u><math>H_1</math></u>
— 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

En cualquier caso el resguardo bruto mínimo debe ser de 0,50 m, salvo en el supuesto de embarcaciones pesqueras y deportivas en que éste mínimo podrá reducirse a 0,30 m.

### 7.2.7 MANUALES DE OPERACION

El procedimiento de determinación de profundidad de agua recogido en los apartados anteriores es un criterio de proyecto basado en analizar los buques más desfavorables operando en las condiciones medioambientales límites para las diferentes maniobras analizadas. El método seguido conlleva el análisis de los diversos factores aislados, que van adicionándose progresivamente introduciendo algunos procedimientos sencillos de corrección para tomar en consideración la menor probabilidad de presentación simultánea de variables independientes. El análisis estadístico global de todos los factores actuando simultáneamente no es viable al momento actual.

El método expuesto permite su utilización no sólo como criterio de diseño sino también como Norma de Explotación, desarrollando cualquier combinación de parámetros que se desee en cada caso concreto en función de las características y circunstancias de cada puerto. Podrían así estudiarse a título de ejemplo las condiciones de marea o de oleaje en que podrían operar buques menores que los máximos de diseño, o las condiciones máximas de viento que podrían aceptar los buques mayores de diseño en el supuesto de que no se presentasen las mareas más desfavorables, u otras muchas combinaciones. Con objeto de facilitar esta aplicación de un modo automático en cada caso, se recomienda elaborar Manuales de Operación que cuantifiquen previamente mediante tablas o gráficos los supuestos de aplicación más frecuentes. El Programa ROM tiene previsto al momento de informatizar esta Recomendación, incorporar un programa de explotación que permita efectuar este análisis en todos los supuestos.

### 7.3. GALIBO SOBRE AREAS DE FLOTACION

La determinación de los gálibos aéreos necesarios en las diferentes Areas de Navegación y Flotación se realizará en cada caso tomando en consideración los factores siguientes:

- La altura de los palos o elementos más elevados de la obra muerta de los buques, así como los factores relacionados con los barcos que puedan ocasionar que algún punto alcance una cota más alta que la correspondiente a quilla plana en condiciones estáticas en agua de mar.

- El nivel del Agua que se considere y los factores que afecta a su variabilidad, que determinarán el plano de referencia para emplazar el buque.
- Los márgenes de seguridad que se establezcan para prevenir un contacto del buque con los elementos que vuelven sobre las Áreas de Navegación y Flotación.

Al momento presente no se dispone de información estadística amplia y fiable sobre la altura de los palos o elementos más elevados de las superestructuras de los buques, que permitan efectuar un análisis riguroso de esta dimensión, por lo que la posibilidad de implantar un modelo de cálculo similar al desarrollado para las profundidades de agua no tiene utilidad práctica. Por el contrario si que se dispone de estadísticas de puentes construidos sobre Áreas de Navegación que permiten correlacionar e espacio aéreo disponible con la profundidad de agua existente en la zona, sin que por otra parte se conozca

**TABLA 7.5. NIVEL MEDIO DE LAS AGUAS EN CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA AREAS DE BUQUES EN TRANSITO O PERMANENCIA**

Características de la zona	<i>NMO</i>
A. Zonas sin corrientes fluviales	
— Sólo marea astronómica	<i>NM</i>
— Marea astronómica y meteorológica	<i>NM</i> + 0.10 m
B. Zonas con corrientes fluviales	
— Sólo marea astronómica	$NMF + \frac{A_{PMVE} - A_{BMVE}}{2}$
— Marea astronómica y meteorológica	$NMF + \frac{A_{PMVE} - A_{BMVE}}{2} + 0.10 \text{ m}$
C. Esclusas	Nivel aguas arriba
E. Dársenas esclusadas	Estudio de detalle

**LEYENDA:**

*NMO* = Nivel Medio de Operación de las aguas libres exteriores

$$NM = \text{Nivel Medio del Mar} = \frac{PMVE + BMVE}{2}$$

$$NMF = \text{Nivel Medio de la corriente fluvial} = \frac{NME + NMI}{2}$$

*PMVE* = Pleamar máxima viva equinocial

*BMVE* = Bajamar mínima viva equinocial

*NME* = Nivel Medio de Estiaje en corrientes fluviales

*NMI* = Nivel medio de los máximos anuales en corrientes fluviales

*A<sub>PMVE</sub>* = Semiamplitud de onda correspondiente a la *PMVE*

*A<sub>BMVE</sub>* = Semiamplitud de onda correspondiente a la *BMVE*

<b>TABLA 7.6. NIVEL MAXIMO DE LAS AGUAS EXTERIORES PARA ESTUDIOS DE GALIBOS Y DRENAJES</b>	
<b>Características de la zona</b>	<b><math>N_{max} O</math></b>
<p>A. Zonas con marea astronómica significativa (U.A. &gt; 0,50 m)</p> <p>— Sin regímenes fluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul> <p>— Con regímenes fluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul>	<p><math>PMVE</math> <math>PMVE + 0,50</math> m</p> <p>Máximo extremal. Riesgo = 0,10 Máximo extremal. Riesgo = 0,10</p>
<p>B. Zonas con marea astronómica no significativa (U.A. &lt; 0,50 m)</p> <p>— Sin regímenes fluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul> <p>— Con regímenes fluviales no significativos (<math>N_{max} RH - N_{min} RH &lt; 1,00</math> m)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul> <p>— Con regímenes fluviales significativos (<math>N_{max} RH - N_{min} RH &gt; 1,00</math> m)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo marea astronómica</li> <li>• Marea astronómica y meteorológica</li> </ul>	<p><math>NM + 0,50</math> m <math>NM + 1,00</math> m</p> <p><math>N_{max} RH + 0,50</math> m <math>N_{max} RH + 1,00</math> m</p> <p>Máximo extremal. Riesgo = 0,10 Máximo extremal. Riesgo = 0,10</p>
C. Esclusas	Nivel aguas arriba
D. Dársenas esclusadas	Máximo extremal. Riesgo = 0,10
<p>LEYENDA:</p> <p><math>N_{max} O</math> = Nivel máximo de las aguas libres exteriores en condiciones de operación</p> <p><math>PMVE</math> = Pleamar máxima viva equinocial</p> <p><math>NM</math> = Nivel Medio del Mar = <math>\frac{PMVE + BMVE}{2}</math></p> <p><math>BMVE</math> = Bajamar mínima viva equinocial</p> <p><math>N_{max} RH</math> = Nivel extremal esperable de los máximos anuales del régimen fluvial asociado a un riesgo admisible</p> <p><math>N_{min} RH</math> = Nivel extremal esperable de los mínimos anuales del régimen fluvial, asociado a un riesgo admisible</p>	

con seguridad si dicha profundidad de agua está siendo utilizada o no para la navegación; sin embargo, tomando en consideración que en donde existan profundidades de aguas naturales es previsible que acaben acogiendo tráficos marítimos comerciales compatibles con ellas, se ha optado por establecer los gálibos exentos mediante una simple correlación con las profundidades de agua disponibles en el emplazamiento utilizables comercialmente; en el supuesto de que se prevean futuras ampliaciones de esta profundidad de agua deberá tomarse en consideración que el Area podrá ser operable por buque de mayores dimensiones. El esquema recomendado para calcular el gálibo exento es el siguiente:

- 1.º Determinar el Nivel Medio de Operación  $NMO$  de las aguas, utilizando los criterios de la Tabla 7.5.
- 2.º Determinar la profundidad de agua ( $h$ ) correspondiente a este Nivel Medio de Operación, tomando en consideración los posibles dragados que pudieran efectuarse en la zona. En el caso de que esta profundidad de agua supere los valores máximos requeridos para la navegación de los Buques de Proyecto, se tomará como valor de ( $h$ ) la profundidad de agua requerida por estos Buques.

- 3.º Evaluar el espacio aéreo ( $a$ ) asociado a esta profundidad de agua con los criterios siguientes:

— Tránsito de buques comerciales de cualquier tipo (excepto cruceros de pasaje):

$$a = 5 h, (a_{max} = 60 \text{ m})$$

— Tránsito de buques cruceros de pasaje:

$$a = 7 h, (a_{max} = 70 \text{ m})$$

— Tránsito de buques veleros:

$$a = 10 h, (a_{max} = 50 \text{ m})$$

Los valores máximos de «a» recogidos en las expresiones anteriores ( $a_{max}$ ) se refieren a los buques recogidos en la Tabla 3.1.

- 4.º Determinar el Nivel Máximo de las Aguas existentes en condiciones de Operación  $N_{max}O$ , con los criterios recogidos en la Tabla 7.6.
- 5.º Contabilizar el espacio aéreo «a» por encima del Nivel Máximo del agua ( $N_{max}O$ ) definido en el apartado anterior.
- 6.º Considerar un Margen de Seguridad adicional de 10 m, excepto en las zonas en las que sólo se prevea tráfico de embarcaciones pesqueras y deportivas con esloras menores de 12 m, en las que el Margen de Seguridad adicional podría reducirse a 5 m.

El gálibo exento deberá quedar situado por tanto a la cota:

$$N_{max}O + a + \text{Margen de Seguridad}$$

En el supuesto de que se adopten gálibos inferiores a los que aquí se recomiendan se establecerán las limitaciones correspondientes en la Norma de Explotación del Area de Navegación o Flotación de que se trate.

## 7.4. NIVELES DE CORONACION DE MUELLES

Los niveles de coronación de los muelles medidos en su cantil serán iguales o superiores al nivel más alto que resulte de la aplicación de los criterios siguientes:

### 7.4.1 CRITERIOS DE EXPLOTACION

El nivel de los muelles se establece en función del Nivel Medio de Operación (NMO) de las aguas, incrementando en las cantidades siguientes, en función del desplazamiento de los buques mayores que operen en el muelle:

- Buques de gran desplazamiento ( $\Delta > 10.000$  t) = + 2.50 m
- Buques de desplazamiento medio ( $10.000 \text{ t} \geq \Delta > 1.000$  t) = +2.00 m
- Buques de pequeño desplazamiento ( $\Delta \leq 1.000$  t) (excepto embarcaciones deportivas) = +1.50 m
- Embarcaciones deportivas (Eslora > 12 m) = +1.00 m
- Embarcaciones deportivas (Eslora  $\leq 12$  m) = +0.50 m

El Nivel Medio de Operación (NMO) se determinará en función de las características del emplazamiento siguiendo los criterios recogidos en la Tabla 7.5, titulada «Nivel Medio de las Aguas en condiciones de Operación para Areas de buques en tránsito o permanencia». Esta Tabla está basada en datos de mareas meteorológicas correspondientes a las costas españolas, por lo que es sólo válida para estas zonas geográficas.

Para el caso de muelles de embarcaciones deportivas si la diferencia entre el Nivel Medio de Operación de las aguas (NMO) y el Nivel Mínimo de Referencia para la determinación de las profundidades de agua establecido en el apartado 7.2.4.6, supera la cantidad de 0,80 m se recomienda que el muelle sea de tipo flotante. Asimismo y en el caso de muelles para Ro-Ros si esta diferencia supera la cantidad de 2.00 m se recomienda la instalación de una rampa móvil.

#### **7.4.2. CRITERIOS DE NO REBASABILIDAD DE LAS AGUAS LIBRES EXTERIORES**

El nivel de los muelles se establece en función del Nivel más alto de las aguas libres exteriores (mar, cauce fluvial, etc.) en condiciones extremales de diseño asociado a un riesgo admisible de 0,10, nivel que se incrementará en un resguardo mínimo de 0.50 m.

La determinación de este nivel se realizará utilizando los Regímenes Extremales conjuntos donde existan y en caso contrario analizando combinaciones de hipótesis en las que se contemple que una u otra variable (oleaje, marea, régimen fluvial, etc.) puede ser la de efecto predominante (a lo que se asignará factor 1.00 y a los restantes factores de combinación 0.7). Al realizar este estudio se tomará en consideración las modificaciones del oleaje ocasionadas por las propias obras.

En el caso de que se consideren elementos, (amarres, pasarelas, etc.) que puedan admitir rebases en condiciones excepcionales sin pérdidas significativas de operatividad, podrá efectuarse una optimización de los niveles anteriormente establecidos realizando al respecto el estudio técnico-económico justificativo correspondiente.

#### **7.4.3. CRITERIOS DE NO REBASABILIDAD DEL NIVEL FREÁTICO EN EL TRASDOS DEL MUELLE**

El nivel de los muelles, tanto en su cantil, como en toda su superficie se establecerá con el resguardo suficiente para que el pavimento y las posibles canalizaciones de servicios (agua, luz, electricidad, etc.) queden situadas por encima del Nivel Freático de las aguas del trasdós del muelle; a tal fin se mantendrán los niveles de los muelles al menos 0,50 m. por encima del Nivel Freático determinado en condiciones extremales de diseño asociadas a un riesgo admisible de 0.10.

#### **7.4.4. CRITERIOS DE DRENAJE**

El nivel de los muelles, tanto en su cantil, como en toda su superficie deberá permitir el drenaje de las aguas pluviales en las condiciones más desfavorables de diseño suponiendo que el Nivel de las aguas libres exteriores se encuentra situado a los niveles definidos en la Tabla 7.6 según las características del emplazamiento.

Con independencia de que este drenaje pueda resolverse superficialmente, se recomienda, en previsión de cambios de usos que no permitan el drenaje superficial, dotar de altura suficiente a los muelles para desarrollar sistemas de drenaje subterráneo mediante tuberías descargando por gravedad.



## **PARTE 8**

## **REQUERIMIENTOS DE PLANTA**

---



<b>8.1. ALCANCE DEL CAPITULO</b> .....	247
<b>8.2. DISPOSICIONES GENERALES SOBRE ORGANIZACION DEL TRAFICO MARITIMO</b> .....	248
8.2.1. AMBITO DE APLICACION .....	248
8.2.2. OBJETIVOS .....	248
<b>8.3. DETERMINACION DE LA CONFIGURACION Y DIMENSIONES EN PLANTA DE LAS AREAS DE NAVEGACION Y FLOTACION</b> .....	249
<b>8.4. VIAS DE NAVEGACION</b> .....	250
8.4.1. FACTORES QUE AFECTAN A SU PROYECTO .....	250
8.4.2. RECOMENDACIONES GENERALES DE TRAZADO .....	251
8.4.3. ANCHURA DE LAS VIAS DE NAVEGACION .....	252
8.4.3.1. CRITERIOS GENERALES .....	252
8.4.3.2. DETERMINACION DE LA ANCHURA NOMINAL « $B_n$ » POR EL METODO DETERMINISTICO .....	252
8.4.3.3. DETERMINACION DE LA ANCHURA NOMINAL « $B_n$ » POR EL METODO SEMIPROBABILISTICO .....	274
8.4.4. PUNTO DE NO RETORNO .....	275
8.4.5. BALIZAMIENTO DE LAS VIAS DE NAVEGACION .....	276
<b>8.5. BOCANAS DE PUERTOS</b> .....	287
8.5.1. FACTORES QUE AFECTAN A SU PROYECTO .....	287
8.5.2. CONDICIONES IMPUESTAS POR LA NAVEGABILIDAD .....	287
8.5.3. ANCHURA MINIMA DE LA BOCANA DEL PUERTO .....	289
8.5.4. BALIZAMIENTO DE LA BOCANA DEL PUERTO .....	289
<b>8.6. AREAS DE MANIOBRA</b> .....	289
8.6.1. CONCEPTO .....	289
8.6.2. FACTORES QUE AFECTAN A SU DIMENSIONAMIENTO .....	289

8.6.3.	DIMENSIONAMIENTO DE LA ZONA DE PARADA DEL BUQUE .....	290
8.6.3.1.	DIMENSIONAMIENTO POR METODOS DETERMINISTICOS .....	290
8.6.3.2.	DIMENSIONAMIENTO POR METODOS PROBABILISTICOS .....	297
8.6.3.3.	PARADA FUERA DE AGUAS PROTEGIDAS .....	298
8.6.4.	DIMENSIONAMIENTO DE LAS ZONAS DE MANIOBRAS DE REVIRO .....	299
8.6.4.1.	DIMENSIONAMIENTO POR METODOS DETERMINISTICOS .....	299
8.6.4.2.	DIMENSIONAMIENTO POR METODOS SEMIPROBABILISTI- COS .....	304
8.6.5.	DIMENSIONAMIENTO DE LA ZONA DE ARRANCADA DE BUQUES .....	306
8.6.6.	BALIZAMIENTO DE LAS AREAS DE MANIOBRAS .....	306
<b>8.7.</b>	<b>FONDEADEROS .....</b>	<b>306</b>
8.7.1.	DEFINICION .....	306
8.7.2.	FACTORES QUE AFECTAN A SU PROYECTO .....	307
8.7.3.	DIMENSIONES DE LOS FONDEADEROS .....	309
8.7.4.	BALIZAMIENTO DE LOS FONDEADEROS .....	316
<b>8.8.</b>	<b>AMARRADEROS Y CAMPOS DE BOYA .....</b>	<b>316</b>
8.8.1.	DEFINICION .....	316
8.8.2.	FACTORES QUE AFECTAN A SU DIMENSIONAMIENTO .....	316
8.8.3.	DIMENSIONES DE LAS AREAS DE FLOTACION REQUERIDAS .....	316
8.8.4.	CONDICIONES OPERATIVAS .....	319
8.8.5.	BALIZAMIENTO DE LOS AMARRADEROS Y CAMPOS DE BOYAS .....	319
<b>8.9.</b>	<b>CONDICIONES COMUNES APLICABLES A VIAS DE NA- VEGACION, AREAS DE MANIOBRAS, FONDEADEROS, ANTEPUERTOS, AMARRADEROS Y CAMPOS DE BOYAS .....</b>	<b>322</b>
<b>8.10.</b>	<b>DARSENAS Y MUELLES .....</b>	<b>324</b>
8.10.1.	FACTORES QUE AFECTAN A SU DIMENSIONAMIENTO .....	324
8.10.2.	ACCESIBILIDAD NAUTICA A LAS DARSENAS .....	325
8.10.3.	DIMENSIONES DE LAS DARSENAS .....	327
8.10.4.	RECOMENDACIONES ESPECIFICAS PARA DARSENAS DE EM- BARCACIONES DEPORTIVAS .....	336
8.10.5.	CONDICIONES LIMITES DE OPERACION .....	339
8.10.6.	BALIZAMIENTO DE LAS DARSENAS Y SEÑALIZACION DE MUE- LLES .....	341

<b>8.11. INSTALACIONES ESPECIALES</b> .....	341
8.11.1. ESCLUSAS.....	341
8.11.2. DIQUES SECOS Y MUELLES ESPECIALES.....	342
8.11.3. ZONAS DE VARADA DE EMERGENCIA .....	343
<b>8.12. CONDICIONES LIMITES DE OPERACION</b> .....	343



**Indice**

8.01.	Anchura de las vías de tramo recto con un solo carril de navegación .....	253
8.02.	Navegación en tramos rectos con condiciones climáticas variables a lo largo de la traza .....	260
8.03.	Configuración tramos rectos con condiciones climáticas variables una sola vía de navegación .....	262
8.04.	Sobreancho debido al rabeo de la popa .....	262
8.05.	Configuración geométrica tramos curvos soluciones con márgenes rectas .....	264
8.06.	Configuración geométrica tramos curvos soluciones con márgenes curvas .....	265
8.07.	Anchura de las vías de tramo recto con dos carriles de navegación. Operación con dos buques del mismo porte .....	267
8.08.	Anchura de las vías de tramo recto con dos carriles de navegación. Operación con dos buques de distinto porte .....	268
8.09.	Configuración tramos rectos con condiciones climáticas variables. Dos vías de navegación .....	269
8.10.	Tramo para adelantamiento de buques .....	272
8.11.	Tramo para cruzamiento de buques .....	273
8.12.	Dimensionamiento de vías navegables por el método semiprobabilístico .....	276
8.13.	Sistemas de balizamiento marítimo (AISM) .....	278
8.14.	Sistemas de balizamiento marítimo (AISM) .....	278
8.15.	Sistemas de balizamiento marítimo (AISM) .....	279
8.16.	Sistemas de balizamiento marítimo (AISM) .....	279
8.17.	Sistemas de balizamiento marítimo (AISM) .....	280
8.18.	Sistemas de balizamiento marítimo (AISM) .....	280
8.19.	Sistemas de balizamiento marítimo (AISM) .....	281
8.20.	Sistemas de balizamiento marítimo (AISM) .....	281
8.21.	Balizamiento de tramos curvos. Soluciones con márgenes rectas .....	282
8.22.	Configuración geométrica tramos curvos. Soluciones con márgenes curvas .....	283
8.23.	Balizamiento de tramos rectos con condiciones climáticas variables. Dos vías de navegación .....	284
8.24.	Balizamiento de tramo para adelantamiento de buques .....	285
8.25.	Balizamiento de tramo para cruzamiento de buques .....	286
8.26.	Parada en tramo recto .....	291
8.27.	Tramo final de la distancia de parada terminando en área de reviro dimensionada sin remolcadores .....	292

8.28.	Tramo final de la distancia de parada terminando en área de reviro dimensionada con remolcadores .....	293
8.29.	Parada en círculo .....	294
8.30.	Parada en trayectoria mixta .....	296
8.31.	Parada fuera de áreas adecuadas para las maniobras de reviro y atraque .....	299
8.32.	Area de reviro sin ayuda de remolcadores ni fondeo de anclas .....	300
8.33.	Area de reviro sin ayuda de remolcadores y con fondeo de anclas .....	301
8.34.	Area de reviro con ayuda de remolcadores .....	303
8.35.	Radio de borneo de un buque fondeado a la gira .....	310
8.36.	Superficie para el fondeo con dos anclas por proa a barba de gato .....	311
8.37.	Superficie para el fondeo con dos anclas por proa a la entrante y vaciante .....	312
8.38.	Superficie para el fondeo con ancla en proa y en popa .....	313
8.39.	Radio de borneo de un buque amarrado a una boya por proa .....	317
8.40.	Superficie para el amarre con dos boyas, una en proa y otra en popa .....	319
8.41.	Superficie para el fondeo con dos anclas por proa y amarre a dos boyas por popa .....	320
8.42.	Superficie para el amarre a dos boyas por proa y dos boyas por popa .....	321
8.43.	Superficie para el fondeo con dos anclas por proa y amarre a tres boyas por popa .....	322
8.44.	Superficie para el amarre en campo de boyas .....	323
8.45.	Zona de reviro en la boca de la dársena .....	326
8.46.	Zona de reviro desplazada del eje de la dársena (dibujada para maniobras con remolcadores y sin variaciones geométricas del área de reviro) .....	327
8.47.	Zona de reviro interconectada con dársena .....	328
8.48.	Resguardos en línea de atraque .....	329
8.49.	Anchura de dársenas. Condicionantes debidos al uso del muelle transversal .....	331
8.50.	Anchura de dársenas, alineaciones longitudinales con dos muelles .....	332
8.51.	Anchura de dársenas. Alineaciones longitudinales con un muelle .....	333
8.52.	Anchura de dársenas con abarloadamiento de buques en muelles longitudinales .....	334
8.53.	Anchura de dársenas con atraque de buques de punta o a la mediterránea en muelle longitudinal .....	335
8.54.	Dársenas con atraque de buques a la mediterránea en muelle transversal .....	337
8.55.	Configuración típica para embarcaciones deportivas .....	338
8.56.	Configuración típica de una esclusa .....	342



**Indice**

8.1. Condiciones límites de operación de buques en muelles y pantalanes..... 339

8.2. Tiempos medios aceptables de cierre de un area por presentarse condiciones climáticas adversas (superiores a las establecidas como límites de operación para los buques de proyecto)..... 345



## PARTE 8

---

### 8.1. ALCANCE DEL CAPITULO

**8.1.1.** El presente capítulo recoge los criterios para la definición geométrica en planta de las Areas de Navegación y Flotación de los puertos y otras instalaciones portuarias, ya sean marítimas, fluviales o lacustres. La configuración y dimensiones en planta de las diferentes Areas de Navegación y Flotación podrán ser variables, estableciéndose en cada una de ellas teniendo en cuenta la vida útil de la instalación, las condiciones de operatividad admitidas para las mismas, la disponibilidad de remolcadores, el número y tipos de ayudas a la navegación, las características y distribución del tráfico de buques, los costos de construcción y mantenimiento y otros aspectos indicados en el Capítulo 2. La configuración y dimensiones que se adopten deberán permitir durante todo el tiempo y condiciones de operatividad que se establezcan para la instalación, la navegación, maniobras, permanencia y carga o descarga de los buques, en condiciones de seguridad, para todos los barcos que utilicen dichas Areas de Navegación y Flotación.

El procedimiento para determinar esta definición geométrica sigue los criterios generales establecidos en el apartado 2.5, es decir:

- Calcular los espacios ocupados por los buques, que dependen por una parte del propio buque y de los factores que afectan a su maniobrabilidad y por otra de los sistemas de balizamiento y ayudas a la navegación.
- Incrementar estos espacios en los Márgenes de Seguridad.
- Comparar estos requerimientos de espacio con los disponibles o exigibles en el emplazamiento.

**8.1.2.** Dado que la navegación de acceso y salida de buques a puertos e instalaciones análogas corresponde a las etapas inicial y final de la navegación de buques, se comienza el capítulo recogiendo en su apartado 8.2 una introducción a las disposiciones generales sobre organización del tráfico marítimo establecidas por la Organización Marítima Internacional (OMI), que es el organismo competente a nivel internacional para la regulación de esta materia. Estas disposiciones están referidas a las zonas de convergencia o gran densidad de tráficos marítimos o a aquellas otras en las que la libertad de movimientos de los buques se ve disminuida por restricciones de espacio, obstáculos para la navegación, limitaciones de profundidad o condiciones meteorológicas desfavorables. Estas regulaciones, que están formuladas con criterio de generalidad, son aplicables fundamentalmente a la navegación exterior a los puertos, si bien deben considerarse como guía para el diseño de las Areas de Navegación y Flotación específicamente portuarias, que se regulan con mayor detalle dentro de esta Recomendación.

**8.1.3.** Por lo que se refiere a estas áreas de Acceso y Flotación de los puertos, su análisis se realiza en los apartados 8.4 a 8.11 con la ordenación y contenido siguientes:

- Vías de navegación, que comprenden las rutas de aproximación, canales de acceso y canales interiores.
- Bocanas de puertos.
- Areas de maniobras, comprendiendo las zonas necesarias para la parada y el reviro del buque.
- Fondeaderos y antepuertos.
- Amarraderos y campos de boyas.

- Dársenas y muelles.
- Areas de emergencia.
- Instalaciones especiales (astilleros, esclusas, etc.).

**8.1.4.** Adicionalmente a estos criterios de dimensionamiento, se recogen en el apartado 8.12 denominado «Condiciones límites de operación» los valores de las variables climáticas marítimas y meteorológicas (vientos, oleajes, corrientes, etc.) que vienen utilizándose habitualmente como límites para la realización de las diferentes maniobras de navegación, acceso, reviro, atraque, permanencia o salida de los buques en las distintas Areas de Navegación o Flotación. De los valores que finalmente se adopten para estas variables climáticas dependerá no sólo las dimensiones del área que se analice, sino también los requerimientos de remolcadores y ayudas a la navegación, así como los porcentajes de inoperatividad de la zona que se considere. Estos valores, en el supuesto de que se adopten, o los que en cada caso particular se establezcan, deberán incorporarse a las Normas de Operación del puerto o instalación portuaria que se considere, sin perjuicio de las mejoras que puedan establecerse para operación de buques menores del de diseño (ver apartado 3.1) o para diferentes combinaciones de variables climáticas, tal como se esboza en el apartado 8.12.

**8.1.5.** La presente ROM establece criterios para el proyecto de las diferentes Areas de Navegación y Flotación en función de los buques que pueden operar en ellos, pero no entra en el análisis de la capacidad de estas Areas. El número de carriles de circulación que haya de tener una vía de Navegación, o el número de estaciones de fondeo, o el número de muelles o puntos de atraque, o cualquier otro aspecto relacionado con la capacidad de estas Areas depende fundamentalmente de las previsiones de tráfico en los diferentes años horizonte y de otros muchos aspectos de planificación, explotación y equipamiento de la instalación que se considere, cuya evaluación técnica y económica excede del alcance de esta ROM.

## **8.2. DISPOSICIONES GENERALES SOBRE ORGANIZACION DEL TRAFICO MARITIMO**

### **8.2.1. AMBITO DE APLICACION**

El contenido del apartado 8.2 está tomado literalmente de la Resolución A.572 (14) de la Organización Marítima Internacional (OMI) de fecha 20 de Noviembre de 1985. La OMI es el único organismo internacional con competencia reconocida para establecer y recomendar a nivel internacional medidas relativas a la organización del tráfico marítimo.

La selección y el establecimiento de los sistemas de organización del tráfico incumben principalmente a los Gobiernos interesados.

El Gobierno que proponga un nuevo sistema de organización del tráfico o una modificación de un sistema ya aprobado, que en parte rebase sus aguas territoriales, deberá consultar a la OMI para que ésta apruebe o modifique dicho sistema a los efectos de la navegación internacional.

A los Gobiernos que establezcan dispositivos de separación del tráfico totalmente comprendidos en sus aguas territoriales se les pide que en la concepción de los mismos se ajusten a los criterios de la OMI aplicables a tales dispositivos y que los sometan a la OMI a fines de aprobación. Si un Gobierno, por la razón que fuese, decide no someter un dispositivo de separación del tráfico a la consideración de la OMI, hará que, cuando el dispositivo sea dado a conocer a los navegantes, en las cartas y en las publicaciones náuticas aparezcan indicaciones claras en cuanto a las reglas aplicables al mismo.

La resolución A.572 (14), que se reproduce en el Anejo n.º solamente en sus aspectos técnicos, recoge además los Procedimientos para la tramitación, aprobación e implantación de los Sistemas de Organización del tráfico marítimo.

### **8.2.2. OBJETIVOS**

- a) La organización del tráfico marítimo tiene por objeto acrecentar la seguridad de la navegación en las zonas de convergencia y en aquellas otras en que hay gran densidad de tráfico o en las que la libertad de movimiento de los buques se ve disminuida por

restricciones de espacio, obstáculos para la navegación, limitaciones de profundidad o condiciones meteorológicas desfavorables.

- b) Los objetivos concretos de todo sistema de organización del tráfico dependerán de las circunstancias de peligro que se quieran atenuar en cada caso, pero entre ellos podrán figurar algunos de los siguientes, en su totalidad o en parte:
1. Separar corrientes de tráfico opuestas a fin de reducir la frecuencia de casos en que los buques lleven rumbos encontrados;
  2. Reducir los peligros de abordaje entre buques que crucen vías de circulación establecidas y los que naveguen por estas vías;
  3. Simplificar las características de la corriente del tráfico en las zonas de convergencia;
  4. Organizar un tráfico seguro en zonas de gran densidad de exploración o explotación mar adentro;
  5. Organizar el tráfico dentro de zonas en que la navegación sea peligrosa o no aconsejable para todos los buques o para ciertas clases de buques, o alrededor de dichas zonas;
  6. Reducir riesgos de varada dando a los buques orientación especial en las zonas en que sea incierta o crítica la profundidad del agua;
  7. Encauzar el tráfico separándolo de los caladeros u organizarlo a través de éstos.

### **8.3. DETERMINACION DE LA CONFIGURACION Y DIMENSIONES EN PLANTA DE LAS AREAS DE NAVEGACION Y FLOTACION**

**8.3.1.** La determinación de la configuración y dimensiones en planta necesarias en las diferentes Areas de Navegación y Flotación se realizará en cada caso tomando en consideración los factores siguientes:

- El tamaño, dimensiones y características de maniobrabilidad de los buques y los factores relacionados con los barcos, incluida la disponibilidad de remolcadores, de los que depende la superficie necesaria para la realización de la navegación, maniobras o permanencia de los buques en el Area que se considere ( $B_1$ ).
- 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 ( $B_2$ ).
- Los márgenes de seguridad que se establezcan para prevenir un contacto del buque con los contornos de las Areas de Navegación o Flotación, o con otras embarcaciones u objetos fijos o flotantes que puedan existir en el entorno. La valoración de estos márgenes de seguridad se incluye dentro del bloque de factores  $B_1$ .

La consideración de los factores anteriores cuantificará la superficie y dimensiones mínimas requeridas en planta, o dimensiones nominales, que deberán ser exigidas a las profundidades nominales de agua si se analiza la utilización de espacios de agua o en los gálidos aéreos si se trata de la ocupación de estos espacios, calculadas ambas (profundidad nominal y gálibo) con los criterios recogidos en la Sección VII. Estas superficies horizontales, para poder quedar garantizadas como espacios disponibles en el emplazamiento tal como se especifica en el apartado 2.5, exigirán tomar además en consideración un conjunto de factores relacionados con los contornos ( $B_3$ ).

Adicionalmente a estos factores que son específicos de la navegación y flotación del buque, será necesario tomar en cada caso otros condicionantes ajenos a esta función, que pueden resultar determinantes para el diseño del Area que se analice. El estudio de estos aspectos excede del alcance de esta ROM, si bien en cada caso concreto se recoge una relación de los más significativos con objeto de que se tenga presente al efectuar el dimensionamiento correspondiente.

**8.3.2.** En la actualidad no se dispone de un modelo de análisis integral que tome en consideración todos los factores, por lo que el dimensionamiento en planta de las Areas de

Navegación y Fondeo se viene realizando habitualmente por algunos de los procedimientos siguientes:

- Métodos totalmente empíricos que fijan las dimensiones en función de criterios de buena práctica de ingeniería.
- Métodos semiempíricos, que combinan el análisis matemático de algunos de los factores, con la consideración empírica de los restantes.
- Simulación mediante modelos con ordenador con pilotos humanos o mediante el uso de pilotos automáticos, en combinación con el análisis estadístico de los resultados obtenidos.

En la presente Recomendación y tal como se expuso en el apartado 2.4.2 se establecen dos procedimientos: determinístico y semiprobabilístico, de los cuales el primero es semiempírico y el segundo está basado en la utilización del simulador mediante modelos con pilotos humanos, y ambos permiten asociar al dimensionamiento a las condiciones de operación que se establezcan en cada caso y al riesgo que se haya fijado para el proyecto. En ambos casos los Márgenes de Seguridad ( $B_3$ ) se determinan empíricamente.

En la Sección 9 de esta ROM se analiza la utilización de modelos de simulación y se establecen recomendaciones sobre la conveniencia de recurrir a este tipo de estudios, que en general serán más necesarios en los supuestos siguientes:

- Cuando las condiciones climáticas marítimas o meteorológicas sean variables en el Area que se analice.
- Cuando las maniobras se efectúen con pilotos manuales y la disponibilidad de espacios en planta no permita desarrollar las soluciones recomendadas por métodos determinísticos.
- Cuando se desee optimizar el proyecto dimensionado por métodos determinísticos, entendiéndose que el proyecto comprende los elementos definidos en el apartado 2.3 (configuración geométrica, sistemas de señalización y balizamiento, condiciones climáticas límites de operación y disponibilidad de remolcadores).
- Cuando se trate de establecer soluciones de consenso o para el entrenamiento de operadores que vayan a intervenir en la navegación o maniobras.

## **8.4. VIAS DE NAVEGACION**

### **8.4.1. FACTORES QUE AFECTAN A SU PROYECTO**

El proyecto de una vía de navegación depende principalmente de los siguientes factores:

- El tamaño, dimensiones y características de maniobrabilidad de los buques más desfavorables que se prevé recibir (que pudieran no ser los mayores, por lo que habitualmente se precisará analizar diversos tipos de buques); en el supuesto de que el estudio se realice considerando la flota subdividida en tramos se considerará el más desfavorable de cada tramo.
- El volumen y naturaleza del tráfico, así como las velocidades admisibles de navegación.
- El tipo de navegación que se prevea realizar, en función del número de vías de circulación disponibles.
- Las características geométricas de la alineación de la vía navegable y las condiciones del entorno en que se encuentre situada.
- El tipo de las ayudas a la navegación, así como sus características de exactitud y disponibilidad.
- La profundidad y características geométricas transversales de la vía navegable.
- La estabilidad de los taludes de la vía navegable.

- Las condiciones climáticas marítimas y meteorológicas existentes en la zona, especialmente la naturaleza e intensidad de las corrientes transversales y muy destacadamente la variación de estas corrientes a lo largo del eje de la vía navegable.
- La experiencia de los operadores de la vía navegable

Para la aplicación de cualquiera de los dos métodos establecidos en esta ROM (determinístico o semiprobabilístico) se partirá de una traza de la vía de navegación, determinándose a continuación la anchura requerida en todas sus secciones críticas, para establecer posteriormente las transiciones de anchura entre los diferentes tramos. El procedimiento será iterativo en la medida en que la consideración de los diferentes factores obligue a reconsiderar alguno de los parámetros iniciales de diseño.

#### **8.4.2. RECOMENDACIONES GENERALES DE TRAZADO**

Aunque el trazado en planta de las vías navegables depende en gran medida de las condiciones locales, pueden establecerse las siguientes recomendaciones generales a tomar en consideración en el diseño:

- La vía de navegación debe ser lo más rectilínea posible, evitando trazados en S (curva seguida de contracurva).
- La vía navegable deberá seguir, si es factible, la dirección de las corrientes principales, de manera que se minimice el efecto de las corrientes transversales. Este criterio también deberá seguirse con vientos y oleajes, si bien será más difícil de conseguir dado que normalmente provendrán de diversas direcciones.
- La vía de navegación debe evitar las áreas de acreción o depósito de sedimentos, para minimizar los costos de mantenimiento.
- Las vías de navegación de aproximación se orientarán si es factible, de manera que se eviten los temporales de través, es decir, orientándolas preferentemente en la dirección del oleaje reinante o cuanto más formando ángulo de hasta  $15/20^\circ$  entre eje de la vía de navegación y la dirección de estos oleajes reinantes.
- Las vías de navegación de aproximación a las bocas de los puertos deben ser preferentemente rectas evitando curvas en o próximas a la entrada del puerto, de manera que se evite la necesidad de que los buques tengan que efectuar correcciones de rumbo en una zona difícil y crítica para la navegación. Si fuere imprescindible disponer curvas se situarán, si es posible, de manera que la vía de navegación cumpla las condiciones recomendadas para paso de secciones estrechas.
- El trazado de las vías de navegación tratará de evitar que los barcos tengan que efectuar la aproximación a muelles y atraques transversalmente a ellos, lo que podría producir un accidente en caso de pérdida de control del buque. De ser posible la vía de navegación deberá quedar situada paralela a muelles y atraques para que esta maniobra se efectúe con mínimo riesgo. Esta precaución se extremará en caso de tratarse de tráfico de mercancías peligrosas.
- El paso de secciones estrechas (puentes, bocanas, etc.) se efectuará en tramos rectos bien balizados de la vía navegable, manteniendo la alineación recta en una distancia mínima de 5 esloras (L) del buque máximo, a uno y otro lado de la sección estrecha.
- En caso de precisarse curvas es mejor una sola curva que una secuencia de pequeñas curvas a cortos intervalos, siempre y cuando la vía navegable esté correctamente balizada.
- El radio de las curvas será como mínimo de 5 esloras (L) del buque de mayores dimensiones que se prevé utilizará la vía navegable, utilizándose preferiblemente radios de 10 esloras (L) o más si es factible; los valores mayores se utilizarán cuanto más grande sea el ángulo entre las alineaciones rectas que definen la curva.
- La longitud de los tramos curvos no debe ser mayor que la mitad del radio de la curva, lo que significa que el ángulo entre alineaciones rectas no debe ser superior a  $30^\circ$ , si es factible.
- Los tramos rectos situados entre curvas deben tener, si es factible, una longitud de 10 veces la eslora (L) del buque mayor que se prevea utilizará la vía navegable.

- La distancia de visibilidad medida en el eje de la vía de navegación debe ser superior a la distancia de parada del buque de diseño suponiendo que navega a la velocidad máxima de navegación admisible en la vía.
- Las transiciones entre tramos de diferente anchura se efectuarán ajustando las líneas límites o de limitación mediante alineaciones rectas con variaciones en planta no mayores de 1:10 (preferentemente 1:20) en cada una de ellas.

### 8.4.3. ANCHURA DE LAS VIAS DE NAVEGACION

#### 8.4.3.1. CRITERIOS GENERALES

La anchura de la vía de navegación, medida perpendicularmente al eje longitudinal de la vía, se determinará como suma de los términos siguientes:

$$B_t = B_n + B_r$$

en donde:

$B_t$  = Anchura total de la vía de navegación

$B_n$  = 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 por tanto la influencia de todos los factores designados como  $B_1$  y  $B_2$  en el apartado 8.3.1.

$B_r$  = Anchura adicional de reserva para tomar en consideración los factores ( $B_3$ ) relacionados con los contornos. (Por ejemplo reserva para inestabilidad de los taludes en el caso de que los contornos de la vía de navegación estén resueltos con esta tipología estructural). Esta anchura podrá ser diferente a una y otra margen « $B_{ri}$ » o « $B_{rd}$ » según la naturaleza y características de las mismas.

La anchura total « $B_t$ » se medirá en el punto más estrecho de la sección transversal de la vía de navegación, que, tratándose de espacios de agua, normalmente coincidirá con la anchura entre taludes o cajeros de las márgenes de la vía medida a la profundidad nominal de la vía de navegación correspondiente al buque de diseño.

En el supuesto de que se desarrollen muelles o atraques o cualquier otro tipo de instalación en las márgenes de la vía de navegación, los espacios requeridos para su implantación y operación con los márgenes de seguridad que se establezcan, se situarán fuera de la anchura total « $B_t$ » de la vía de navegación. A falta de criterios específicos se mantendrá una reserva de espacio de 2,5 veces la manga del buque de diseño, entre el límite del canal y cualquier barco que pudiera estar atracado en los muelles contiguos. Asimismo se mantendrá este espacio de reserva de 2,5 B, entre el límite del canal y la posición más avanzada que pudiera alcanzar un buque fondeado o amarrado en sus proximidades.

La determinación de la anchura nominal « $B_n$ » de la vía de navegación se calculará de acuerdo con los criterios siguientes, según se utilice el método determinístico o el semiprobabilístico.

#### 8.4.3.2. DETERMINACION DE LA ANCHURA NOMINAL « $B_n$ » POR EL METODO DETERMINISTICO

##### a) VIAS CON UN SOLO CARRIL DE NAVEGACION

##### 1. Navegación en tramos rectos con condiciones climáticas constantes a lo largo de la traza

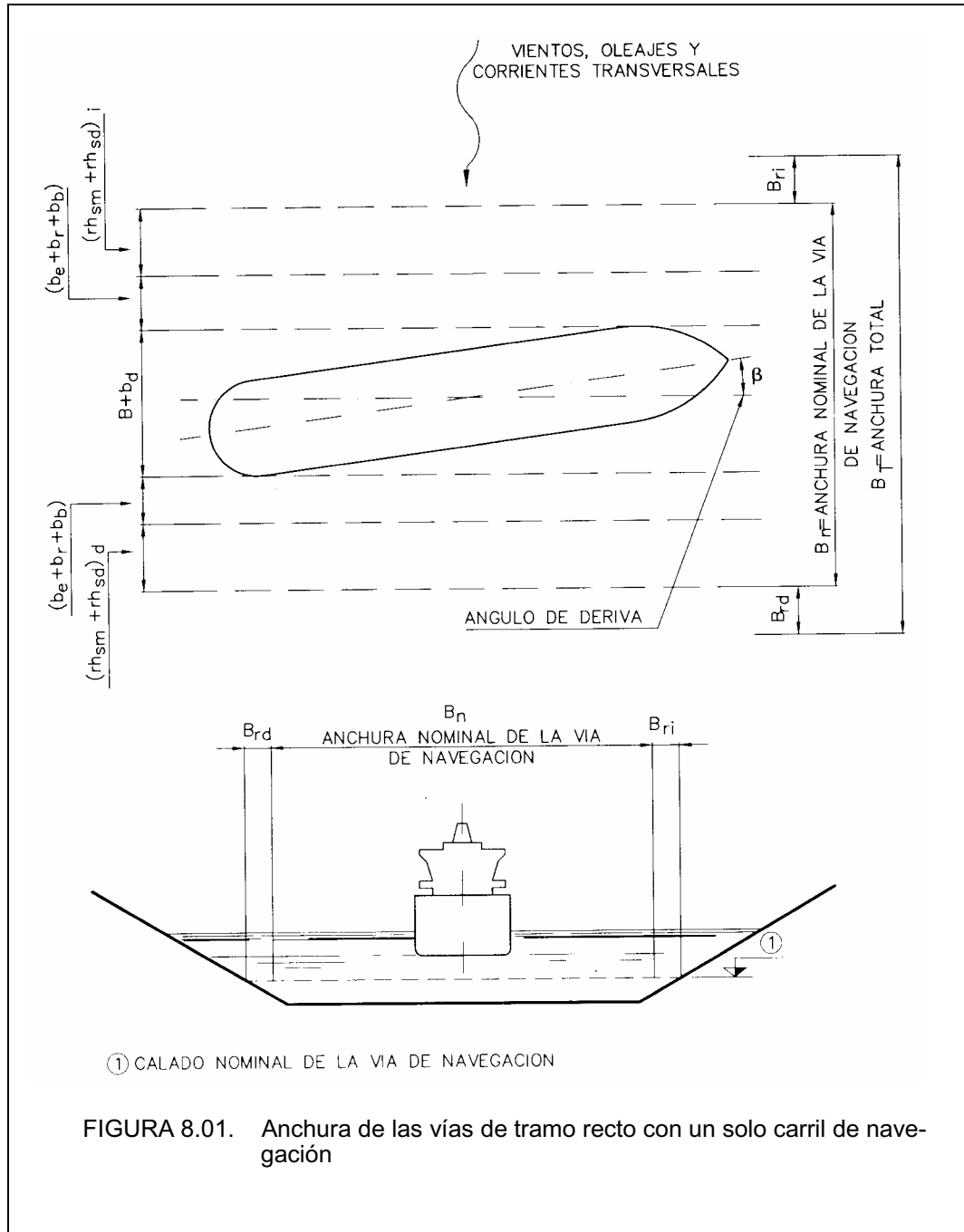
La anchura nominal mínima de una vía de navegación de tramo recto, dotada de un solo carril (sin posibilidad por tanto de efectuar maniobras de cruzamiento o adelantamiento de buques), en el supuesto de que las condiciones climáticas marítimas y meteorológicas (vientos, oleajes y corrientes) sean constantes a lo largo de la traza, se determinará como suma de las dimensiones siguientes (ver fig. 8.01)

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

siendo:

$B$  = Manga máxima de los buques que circularán por la vía de navegación.





$b_d$  = Sobreecho 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. El sobreecho necesario ( $b_d$ ) se calculará con la fórmula siguiente:

$$b_d = L_{pp} \cdot \text{sen } \beta \text{ (para valoración de espacios de agua)}$$

$$b_d = L \cdot \text{sen } \beta \text{ (para valoración de espacios aéreos)}$$

siendo:

$L_{pp}$  = Eslora entre perpendiculares del buque de diseño.

$L$  = Eslora total del buque de diseño.

$\beta$  = Ángulo de deriva, que puede determinarse con las fórmulas siguientes válidas para valores de  $\beta \leq 25^\circ$ .

- Para derivas ocasionadas únicamente por la acción del viento (en este caso también denominadas abatimientos)

$$\beta = \arcsen \frac{K_v \cdot C_v \cdot C_{sr} \cdot \sen \alpha_{vr}}{V_r}$$

siendo:

$K_v$  = Coeficiente dependiente de la forma del casco, de la relación  $h/D$  entre la profundidad de agua en el emplazamiento ( $h$ ) y el calado del buque ( $D$ ) y del ángulo  $\alpha_{vr}$

Para el caso de cascos con proa de bulbo, el coeficiente  $K_v$  podrá obtenerse interpolando linealmente entre los valores siguientes:

$h/D$	$K_v$			
	$\alpha_{vr} \leq 10^\circ$	$\alpha_{vr} = 30^\circ$	$\alpha_{vr} = 60^\circ$	$\alpha_{vr} = 90^\circ$
$\leq 1.20$	0,0343	0,0227	0,0184	0,0172
2.00	0,0402	0,0266	0,0216	0,0201
$\geq 5.00$	0,0423	0,0280	0,0227	0,0211

Para el caso de cascos con proa convencional, el coeficiente  $K_v$  podrá obtenerse interpolando linealmente entre los valores siguientes:

$h/D$	$K_v$			
	$\alpha_{vr} \leq 10^\circ$	$\alpha_{vr} = 30^\circ$	$\alpha_{vr} = 60^\circ$	$\alpha_{vr} = 90^\circ$
$\leq 1.20$	0,0243	0,0161	0,0130	0,0121
2.00	0,0255	0,0168	0,0136	0,0127
$\geq 5.00$	0,0259	0,0171	0,0139	0,0129

$$C_v = \left( \frac{A_{LV}}{A_{LC}} \right)^{0.5}$$

$A_{LV}$  = Area de la proyección longitudinal del buque expuesta a la acción del viento. Para su determinación ver apartado 4.8.

$A_{LC}$  = Area longitudinal sumergida del buque proyectada sobre el plano de crujía. Para su determinación ver apartado 4.8.

$V_{vr}$  = Velocidad relativa del viento referida al buque analizado. Para su determinación se partirá de los valores absolutos de la velocidad del viento que se consideren como límite de operación de la vía navegable.

$V_r$  = Velocidad relativa del buque referida al agua. Para su cuantificación se seguirán los criterios establecidos en el apartado 7.2.3.4.3 adoptando los valores menores de la velocidad del buque que sean compatibles con la navegación analizada.

$\alpha_{vr}$  = Ángulo entre la dirección del viento relativo (de donde viene) y el plano de crujía del buque.

- Para derivas ocasionadas únicamente por la acción de la corriente

$$\beta = \arctg \frac{V_c \cdot \sen \alpha_{cv}}{V + V_c \cdot \cos \alpha_{cv}}$$

siendo:

$V_c$  = Velocidad absoluta de la corriente que se considere como límite de operación de la vía navegable.

- $V$  = Velocidad absoluta del buque con respecto al fondo. Para su cuantificación se seguirán los criterios establecidos en el apartado 7.2.3.4.3 adoptando los valores menores de la velocidad del buque que sean compatibles con la navegación analizada.
- $\alpha_{cv}$  = Angulo entre la dirección de la corriente absoluta (de donde viene) y la velocidad absoluta del buque.

- Para derivas ocasionadas únicamente por la acción del oleaje

$$\beta = \arcsen \left[ K_w \cdot \left( \frac{g}{D} \right)^{0.5} \cdot \frac{H_s}{V_r} \right]$$

siendo:

- $K_w$  = Coeficiente dependiente de la forma del casco, de la relación  $h/D$  entre la profundidad del agua en el emplazamiento ( $h$ ) y el calado del buque ( $D$ ) y del ángulo  $\alpha_w$  (Se supone en primera aproximación que este coeficiente es independiente del período y longitud de ola, aunque podría efectuarse una valoración más detallada en función de estos parámetros utilizando la formulación general de la Parte 4).

Para el caso de cascos con proa de bulbo, el coeficiente  $K_w$  podrá obtenerse interpolando linealmente entre los valores siguientes:

$h/D$	$K_w$						
	$\alpha_w \leq 10^\circ$	$\alpha_w = 30^\circ$	$\alpha_w = 60^\circ$	$\alpha_w = 90^\circ$	$\alpha_w = 120^\circ$	$\alpha_w = 150^\circ$	$\alpha_w \geq 170^\circ$
$\leq 1.20$	0.0418	0.0725	0.1508	0.1871	0.1673	0.1025	0.0592
2.00	0.0490	0.0849	0.1768	0.2193	0.1961	0.1201	0.0693
$\geq 5.00$	0.0515	0.0892	0.1857	0.2303	0.2060	0.1261	0.0728

Para el caso de cascos con proa convencional, el coeficiente  $K_w$  podrá obtenerse interpolando linealmente entre los valores siguientes:

$h/D$	$K_w$						
	$\alpha_w \leq 10^\circ$	$\alpha_w = 30^\circ$	$\alpha_w = 60^\circ$	$\alpha_w = 90^\circ$	$\alpha_w = 120^\circ$	$\alpha_w = 150^\circ$	$\alpha_w \geq 170^\circ$
$\leq 1.20$	0.0296	0.0512	0.1067	0.1323	0.1183	0.0725	0.0418
2.00	0.0310	0.0537	0.1118	0.1387	0.1240	0.0760	0.0439
$\geq 5.00$	0.0315	0.0546	0.1137	0.1410	0.1261	0.0772	0.0446

- $\alpha_w$  = Angulo entre la dirección de propagación del oleaje (de donde viene) y el plano de crujía del buque.
- $g$  = Aceleración de la gravedad.
- $H_s$  = Altura de ola significativa del oleaje que se considere como límite de operación de la vía navegable para el buque se analice.
- $V_r$  = Velocidad relativa del buque referida al agua. Para su cuantificación se seguirán los criterios recogidos en el apartado 7.2.3.4.3 adoptando los valores menores de la velocidad del buque que sean compatibles con la navegación analizada.
- $D$  = Calado del buque que se analice

- Para derivas ocasionadas únicamente por la acción de remolcadores

$$\beta = \arcsen \left[ K_r \cdot \left( \frac{g \cdot F_{TR}}{A_{LC} \cdot \gamma_w} \right)^{0.5} \cdot \frac{1}{V_r} \right]$$

siendo:

$K_r$  = Coeficiente dependiente de la forma del casco y de la relación  $h/D$  entre la profundidad de agua en el emplazamiento y el calado del buque ( $D$ ). Podrá obtenerse interpolando linealmente entre los valores siguientes:

$h/D$	$K_r$	
	Proa de bulbo	Proa convencional
$\leq 1.20$	0.63	0.45
2.00	0.74	0.47
$\geq 5.00$	0.78	0.48

$g$  = Aceleración de la gravedad.

$F_{TR}$  = Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante de los remolcadores que actúen sobre él.

$A_{LC}$  = Area longitudinal sumergida del buque proyectada sobre el plano de crujía. Para su determinación ver apartado 4.8.

$\gamma_w$  = Peso específico del agua.

$V_r$  = Velocidad relativa del buque referida al agua. Para su cuantificación se seguirán los criterios establecidos en el apartado 7.2.3.4. adoptando los valores menores de la velocidad del buque que sean compatibles con la navegación realizada.

- *Para derivas ocasionadas por la acción simultánea de vientos, corrientes, oleajes y remolcadores*

El ángulo de deriva « $\beta$ » se calculará suponiendo que su seno es la suma de los senos de los ángulos de deriva correspondiente a las diferentes acciones actuando independientemente, es decir:

$$\text{sen } \beta = (\text{sen } \beta)_{\text{viento}} + (\text{sen } \beta)_{\text{corrientes}} + (\text{sen } \beta)_{\text{oleajes}} + (\text{sen } \beta)_{\text{remolcadores}}$$

Esta suma será algebraica considerando por tanto cada deriva con el signo que la corresponda. Se hace notar al respecto que para cada efecto la deriva se produce en el sentido de llevar la proa hacia la banda de donde viene la acción.

Se recomienda que las condiciones límites de navegación se seleccionen de manera que no se produzcan ángulos de deriva superiores a los valores siguientes, en el supuesto de que el buque navegue a las menores velocidades de tránsito admisibles:

	$\beta$
— 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°

en donde ( $h$ ) es la profundidad de agua en reposo y ( $D$ ) el calado del buque.

$b_e$  = Sobreancho por errores de posicionamiento. Corresponde a la diferencia (sólo la componente transversal al eje de la vía) 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 Area de Navegación o Flotación que se analice. A falta de mayor información sobre la precisión de estos sistemas de ayuda se utilizarán los valores siguientes. Todos los valores para sistemas electrónicos corresponden a precisión predecible al 95%.

	Operación sin práctico o sin capitán experimentado en el emplazamiento considerado	Operación con práctico o capitán experimen- tado en el emplazamiento considerado
• Posicionamiento visual en estuarios abiertos, sin balizamiento:	100 m	50 m
• Posicionamiento visual referido a boyas o balizas en vías de aproximación:	50 m	25 m
• Posicionamiento visual entre alineaciones de boyas o balizas que marquen los límites de la vía:	20 m	10 m
• Posicionamiento visual mediante enfilaciones:	0,5°	0,5°
• Posicionamiento mediante sistemas radioeléctricos (válidos para situarse sobre una carta náutica, sin posicionamiento visual)		
— Radiofaros:	5,0°	5,0°
— Radar (a bordo). Banda S:	1,5°	1,5°
— Radar (a bordo). Banda X:	1,0°	1,0°
— RACON(distancia /demora):	150 m/0,3°	150 m/0,3°
— TRANSIT. Doble Frecuencia:	25 m	25 m
GPS:	100 m	100 m
DGPS:	10 m	10 m

En todos los valores indicados en grados, la diferencia de posición es el producto de la distancia por el seno del ángulo correspondiente y no siempre coincidirá con la componente transversal al eje de la vía que es valor « $b_e$ » buscado.

En el supuesto de que la vía de navegación se dimensione suponiendo «operación con práctico o capitán experimentado» deberá quedar recogida esta condición en las Normas o Manuales de Operación correspondientes.

En el caso de que no se conozcan las características del sistema de ayuda a la navegación, se adoptará, para estudios preliminares, como medida de este sobrecancho « $b_e$ », un valor igual a la manga máxima « $B$ » de los buques que operen en la vía navegable.

$b_r$  = Sobrecancho para respuesta, que valora la desviación adicional que puede producirse desde el instante en que se detecta la desviación del buque en relación a su posición teórica y el momento en que la corrección es efectiva. Este sobrecancho se determinará en función de las características de maniobrabilidad del buque, de la manga máxima ( $B$ ), de la relación entre la profundidad de agua en reposo en el emplazamiento ( $h$ ) y el calado del buque ( $D$ ), y del Riesgo máximo admisible ( $E_{max}$ ) durante la Vida Útil de la Fase del Proyecto que se analiza, mediante la expresión:

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

siendo:

$E_{max}$  = Riesgo Máximo admisible determinado con los criterios establecidos en la Tabla 2.2.

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

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	$0,30 \cdot B$	$0,20 \cdot B$

siendo:

- Buques de capacidad de maniobra buena: Buques de guerra (excepto submarinos), buques ferries y ro-ros, embarcaciones menores (pesqueras y deportivas).
- También podría considerarse que los buques del párrafo siguiente tienen capacidad de maniobra buena si su estado de carga es menor del 50%.
- Buques de capacidad de maniobra media: petroleros, graneleros, metañeros, transportadores de gases licuados, portacontenedores, mercantes de carga general, polivalentes y buques de pasajeros, con estados de carga iguales o mayores del 50%.
- Buques de capacidad de maniobra mala: Buques averiados y buques antiguos mal mantenidos.

Para el dimensionamiento de vías navegables sometidas a tráfico general se utilizarán las condiciones de maniobrabilidad media de los buques, ya que, en general, la maniobrabilidad mala corresponderá a determinados buques antiguos que no serán habitualmente los de mayores dimensiones o a buques averiados cuyo tránsito por la vía podrá regularse con ayudas especiales a la navegación de manera que se reduzcan los riesgos.

$b_b$  = Sobreecho para cubrir el error que pudiera derivarse de los propios sistemas de balizamiento. A falta de mayor información sobre las características de estos sistemas se utilizarán los criterios siguientes:

- Para balizamiento mediante boyas se calculará el borneo máximo que pueda presentar la boya en relación con su posición teórica, en las Condiciones Climáticas Límites de Operación y en las condiciones extremas de marea que pudieran presentarse. Asimismo se considerará la posibilidad de garreo de los muertos de fondeo de las boyas en el supuesto de que las condiciones climáticas o las de mantenimiento del canal no garanticen la permanencia de los muertos en su posición teórica de fondeo.
- Errores instrumentales de enfilaciones ópticas: 0,5°.

La diferencia de posición producida por este error es el producto de la distancia por el seno del ángulo por lo que, en cada caso, será preciso calcular la correspondiente transversal al eje de la vía que es el valor « $b_p$ » buscado.

$rh_{sm}$  = 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. Este resguardo podrá ser diferente a una y otra margen ( $rh_{sm,i}$  y  $rh_{sm,d}$ ) según la naturaleza de las mismas y se determinará según los criterios siguientes, en los que se ha supuesto que siempre se cuenta con el Margen de Seguridad ( $rh_{sd}$ ) especificado en el párrafo siguiente, por lo que en ningún caso podrán aceptarse valores de « $rh_{sm} + rh_{sd}$ » inferiores a los que aquí se indican:

	$rh_{sm}$	$r_{sm}$	$r_{sm} + rh_{sd}$
— Vías de navegación con taludes tendidos ( $V/H \leq 1/3$ )			
• Velocidad absoluta del buque $\geq 6$ 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 $\leq 4$ 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 $\geq 6$ m/s	1.2 B	0.2 B	1.4 B
• Velocidad absoluta del buque entre $\leq 4$ y 6 m/s	0.8 B	0.2 B	1.0 B
• Velocidad absoluta del buque $\leq 4$ m/s	0.4 B	0.2 B	0.6 B

siendo ( $B$ ) la manga máxima del buque y ( $V/H$ ) la pendiente del talud de las márgenes calculada por la relación entre la proyección vertical y la horizontal de una unidad de longitud medida sobre el talud.

$rh_{sd}$  = 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. Para su determinación se tomarán los valores indicados en el párrafo anterior que tienden a minimizar el riesgo de contacto del buque atendiendo a la naturaleza de las márgenes de la vía navegable. Este resguardo podrá ser diferente en una y otra margen ( $rh_{sd})_i$  ( $rh_{sd})_d$  según la naturaleza y características de las mismas.

## 2. Navegación en tramos rectos con condiciones climáticas variables a lo largo de la traza

En el supuesto de que las condiciones climáticas presenten variaciones en tramos cortos a lo largo del eje de la vía navegable, lo que sucede frecuentemente en las bocanas de los puertos, en la confluencia de cauces, en cambios de alineación de la vía navegable no adaptados al flujo de las corrientes y en otros supuestos similares, las condiciones de navegabilidad de los buques deben adecuarse a este régimen variable, modificando su ángulo de deriva a valores diferentes e incluso opuestos, lo que ocasiona trayectorias curvilíneas o en «zig-zag» con una mayor ocupación de la senda utilizada por el buque. La determinación de la trayectoria y de la mayor senda ocupada por el buque sólo puede realizarse con precisión mediante modelos físicos, modelos matemáticos complejos o realizando estudios de simulación. Con carácter aproximado podrá estimarse el sobreancho necesario para estas maniobras suponiendo que en el tiempo en el que el buque pasa de una a otra posición de equilibrio se produce una deriva ocasionada por las fuerzas transversales descompensadas que aumenta la anchura de la senda ocupada por el buque. Con este supuesto la anchura nominal de la vía navegable en el tramo de variación se determinará aplicando los criterios expuestos en el párrafo 1 de este apartado 8.4.3.2.a, incrementando el sobreancho « $b_d$ » de la senda del buque, en una cantidad adicional « $b_{dv}$ » determinada con la expresión siguiente:

$$b_{dv} = V_{rr} \cdot t_c \cdot (\text{sen } \beta_0 - \text{sen } \beta_1)$$

Siendo:

$b_{dv}$  = Sobreancho adicional de la senda ocupada por el buque, ocasionado por las condiciones climáticas variables.

$V_{rr}$  = Velocidad relativa del buque referida a la velocidad de la corriente de la vía navegable en la misma dirección de su ruta. Para su cuantificación seguirán los criterios establecidos en el apartado 7.2.3.4.3 adoptando los valores menores de la velocidad del buque que sean compatibles con la navegación analizada.

$t_c$  = Tiempo necesario para corregir la maniobra del buque, determinado con los criterios siguientes:

Maniobrabilidad del buque	Operación sin práctico o sin capitán experimentado en el emplazamiento	Operación con práctico o capitán experimentado en el emplazamiento
— Buena		
• Buques pesqueros y deportivos	120 s	60 s
• Otro tipo de buques	135 s	75 s
— Media	150 s	90 s
— Mala	180 s	120 s

Para el dimensionamiento de vías navegables sometidas a tráfico general se utilizarán las condiciones de maniobrabilidad media de los buques, ya que, en general la maniobrabilidad mala corresponderá a determinados buques antiguos que no serán habitualmente los de mayores dimensiones, o a buques averiados cuyo tránsito por la vía podrá regularse con ayudas especiales a la navegación de manera que se reduzcan los riesgos.

En el caso de que la vía de navegación se dimensione suponiendo «operación con práctico o capitán experimentado» deberá quedar recogida esta condición en las Normas o Manuales de Operación correspondientes.

$\beta_0$  = Angulo de deriva máximo en la zona de variación de las condiciones climáticas.

$\beta_1$  = Angulo de deriva en el tramo de navegación permanente anterior ( $\beta_{1a}$ ) o posterior ( $\beta_{1p}$ ) a la zona de variación de las condiciones climáticas. Se tomará en valor alge-

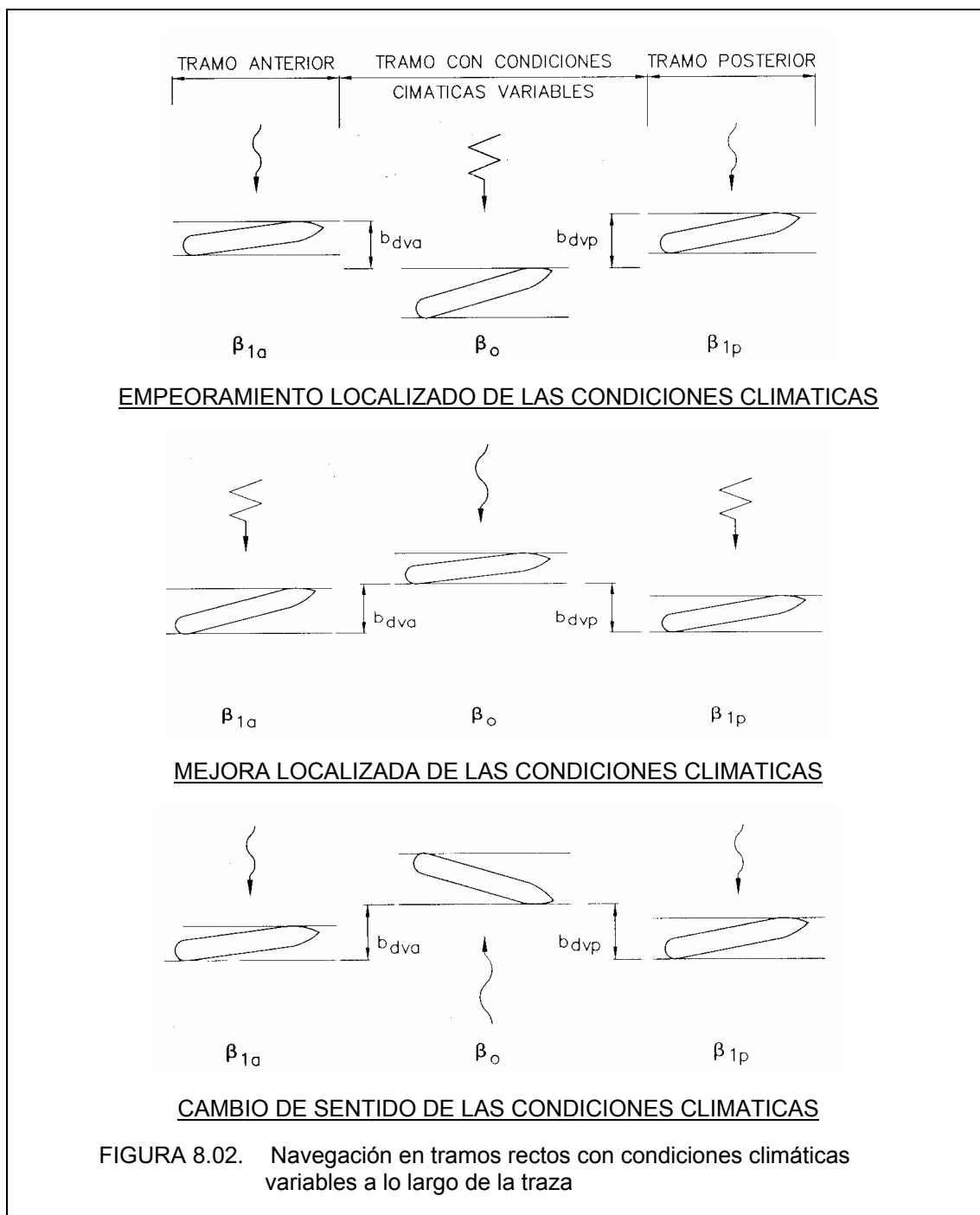
braico en relación con « $\beta_0$ », es decir, con signo negativo en el caso de que el ángulo de deriva tenga signo contrario.

La determinación del sobreaño necesitará en la mayoría de los casos efectuar comprobaciones para la navegación en ambos sentidos, analizando en cada uno de ellos dos cambios de rumbo:

- El producido entre la navegación permanente anterior y la zona de condiciones climáticas variables.
- El producido entre la zona de condiciones climáticas variables y la zona de navegación permanente posterior.

En la fig. 8.02 se representan los supuestos de navegación más frecuentes correspondientes a:

- Empeoramiento localizado de las condiciones climáticas transversales.





- Mejora localizada de las condiciones climáticas transversales.
- Cambio de sentido de las condiciones climáticas transversales.

Efectuadas estas determinaciones se dispondrá del sobreancho de la senda del buque producido por la navegación con un ángulo de deriva, en las tres zonas siguientes:

	Para valoración de espacios de agua	Para valoración de espacios aéreos
• Al final del tramo	$L_{pp} \cdot \text{sen } \beta_{1a} + b_{dva}$	$L \cdot \text{sen } \beta_{1a} + b_{dva}$
• Al inicio del tramo	$L_{pp} \cdot \text{sen } \beta_{1p} + b_{dvp}$	$L \cdot \text{sen } \beta_{1p} + b_{dvp}$
• En el tramo variable:	$L_{PP} \cdot \text{sen } \beta_0 + (b_{dva} \text{ ó } b_{dvp})$	$L_{PP} \cdot \text{sen } \beta_0 + (b_{dva} \text{ ó } b_{dvp})$
	el más desfavorable de los 2 si van en sentido contrario o la suma de ambos si van en el mismo sentido.	el más desfavorable de los dos si van sentido contrario o la suma de ambos si van en el mismo sentido.

Para situar correctamente estas anchuras y sobreanchos se recomienda mantener invariable el eje de la vía navegable a lo largo de todo el tramo. En el supuesto de que la deriva adicional « $b_{dv}$ » se produzca siempre en el mismo sentido (por ejemplo cuando se trate de un cauce fluvial que incida sobre la vía navegable) el sobreancho « $b_{dv}$ » se considerará a la banda correspondiente de la vía navegable. Si por el contrario la deriva adicional pudiera producirse en uno y otro sentido, (por ejemplo cuando esté ocasionado por una corriente de marea que incide transversalmente a la vía navegable), será necesario calcular el sobreancho « $b_{dv}$ », a izquierda y derecha de la vía navegable, aplicando la corrección correspondiente en cada banda; en este supuesto podría conseguirse una minoración de la anchura total requerida si se efectuase una maniobra de anticipación de reacciones del buque que corrigiese, al menos parcialmente, el efecto de deriva esperable en la zona de variación de las condiciones climáticas. Esta operación sólo sería aplicable en caso de que las maniobras se efectuasen con práctico o capitán experimentado en el emplazamiento considerado y debería quedar incorporada a las Normas de Operación del puerto, en el caso de que se optimizase el sobreancho de la vía navegable recurriendo a este procedimiento.

El sobreancho requerido para esta navegación en tramos rectos con condiciones climáticas variables se mantendrá en todo el tramo afectado más una longitud adicional ( $l$ ) aguas arriba y aguas abajo de valor

$$l = 2 \cdot V \cdot t_c$$

en donde para la velocidad absoluta del buque « $V$ » se tomarán los valores máximos admisibles para el Buque de Proyecto según las Normas de Operación de la vía navegable, y para el tiempo « $t_c$ » las cifras indicadas en este apartado para el cálculo de « $b_{dv}$ ». La transición a la anchura requerida en los tramos anterior y posterior de la vía navegable se efectuará con variaciones en planta no mayor de 1:10 (preferentemente 1:20) en cada una de las márgenes. Ver figura 8.03 en la que se ha representado la anchura total  $B_t$  en el tramo variable ( $B_{t0}$ ) y en los tramos anterior ( $B_{t1a}$ ) y posterior ( $B_{t1p}$ ).

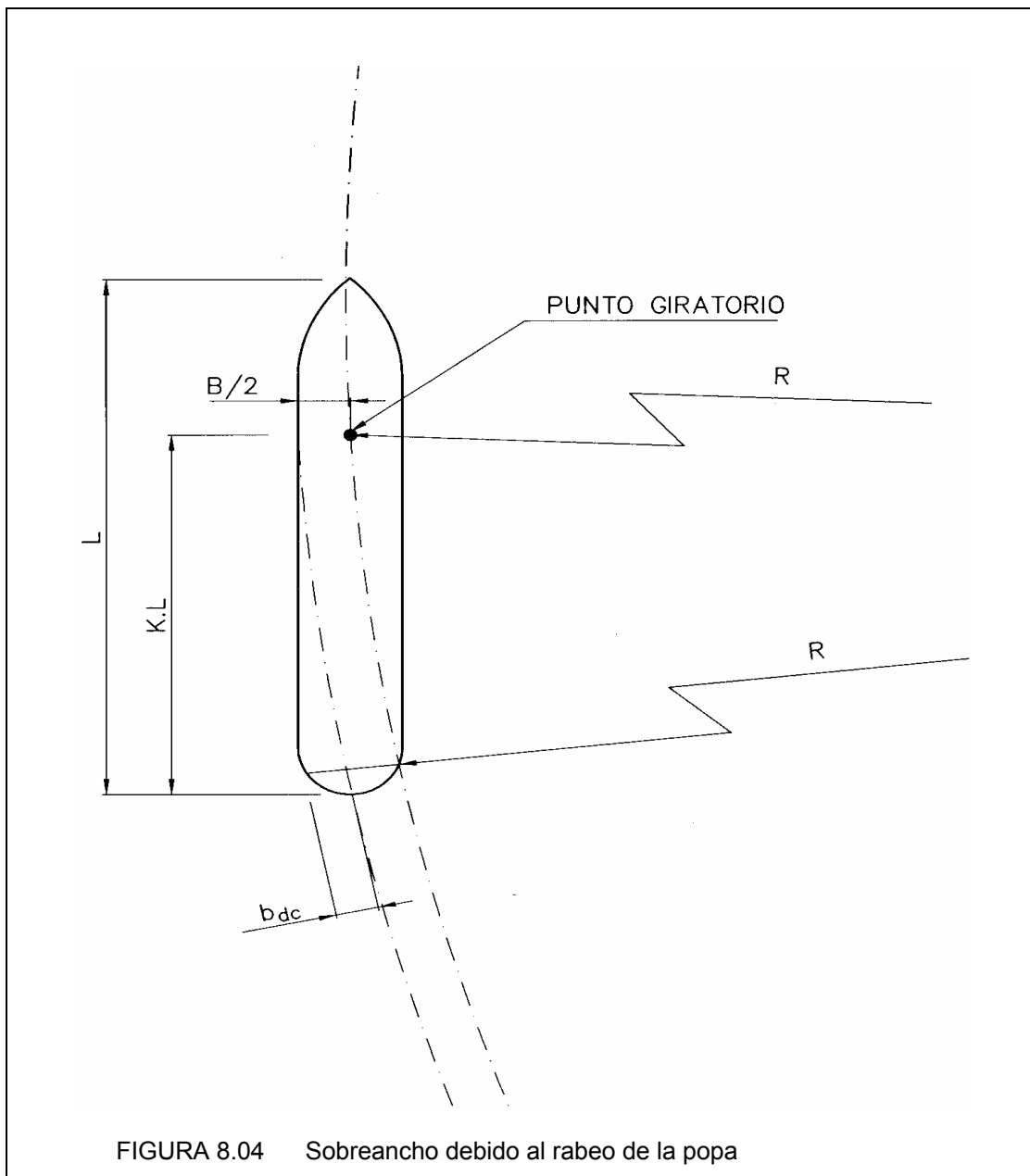
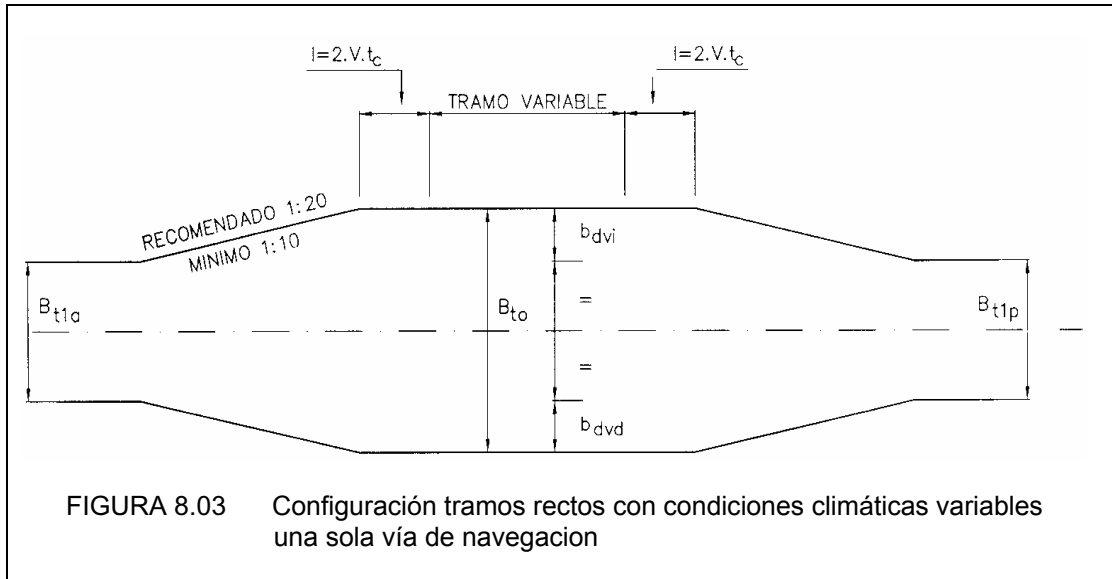
### 3. Navegación en tramos curvos con condiciones climáticas constantes a lo largo de la traza

Cuando la navegación se efectúe en tramos curvos con condiciones climáticas constantes a lo largo de la traza, la anchura nominal « $B_n$ » de la vía de navegación se determinará con los mismos criterios expuestos para navegación en tramos rectos, incrementando el sobreancho « $b_d$ » de la senda del buque producido por la navegación con un ángulo de deriva, y el sobreancho « $b_r$ » debido a la velocidad de respuesta del buque, en las cantidades siguientes:

— Incremento del sobreancho de la senda del buque ocasionado por la navegación con un ángulo de deriva.

El valor de este incremento « $b_{dc}$ » se determinará para corregir el efecto de rabeo de la popa del buque (ver apartado 6.2.4.), aplicando la fórmula siguiente (ver fig. 8.04):

$$b_{dc} = \sqrt{\left(R + \frac{B}{2}\right)^2 + (K \cdot L)^2} - \left(R + \frac{B}{2}\right)$$



que puede aproximarse mediante la expresión simplificada siguiente aplicable tanto a la valoración de espacios de agua como de espacios aéreos:

$$b_{dc} = \frac{K^2 \cdot L^2}{2R}$$

siendo:

$b_{dc}$  = Sobreancho adicional de la senda ocupada por el buque, ocasionado por navegación en tramos curvos.

$R$  = Radio de la trayectoria, para el que se adoptará el radio de la curva de la vía navegable.

$K$  = Distancia del punto giratorio a la popa del buque (o a la proa si fuera mayor), expresada en fracción de la Eslora total del buque ( $L$ ).

$L$  = Eslora total del buque.

$B$  = Manga del buque.

Para buques en los que el punto giratorio se encuentre en el centro de la eslora  $K= 0,5$  y la expresión anterior se transforma en la siguiente que es de uso habitual en la bibliografía:

$$b_{dc} = \frac{L^2}{8R}$$

Para los buques de mayores desplazamientos con formas de carena llenas (petroleros, graneleros, etc.) que suelen ser críticos para el dimensionamiento de vías navegables,  $K= 0,5$  si la relación entre la profundidad de agua en reposo ( $h$ ) y el calado del buque ( $D$ ) es  $h/D = 1,20$ ; mientras que si esta relación  $h/D = 1,50$ , el valor de  $K = 2/3$ , con lo que la expresión anterior se transformaría en:

$$b_{dc} = \frac{2L^2}{9R}$$

Para embarcaciones rápidas (buques con formas de carena finas y embarcaciones deportivas)  $K= 1$  y el sobreancho llegaría a alcanzar el valor:

$$b_{dc} = \frac{L^2}{2R}$$

En el supuesto de que la vía navegable se dimensione para un tráfico general se adoptará el valor del sobreancho correspondiente a los buques de mayores desplazamientos con formas de carena llenas que habitualmente resultarán críticos para la determinación de las dimensiones de la vía navegable, utilizando el valor de « $b_{dc}$ » calculada para  $K= 0,5$  o  $K= 2/3$  según la relación  $h/D$  del proyecto (para valores intermedios puede interpolarse linealmente):

— Incremento del sobreancho debido a la velocidad de respuesta del buque

El valor de este incremento ( $b_{rc}$ ), que es adicional al « $b_r$ » definido para tramos rectos, se establece para tomar en consideración las dificultades de maniobra ocasionadas por el hecho de que el buque no responde inmediatamente a las instrucciones del operador y en consecuencia el piloto debe anticipar la maniobra desviándose del eje teórico de la vía de navegación.

A reserva de estudios más precisos y siempre que el trazado de la vía navegable se mantenga dentro de las recomendaciones de trazado recogidas en el apartado 8.4.2 el valor de este sobreancho puede cifrarse en los valores siguientes en función de la Manga del Buque ( $B$ ), del Riesgo Máximo Admisible ( $E_{max}$ ) durante la Vida Útil de la Fase del Proyecto que se analiza determinado con los criterios establecidos en la Tabla 2.2 y de la maniobrabilidad del buque (ver apartado de cálculo de ( $b_r$ ) en este mismo punto):

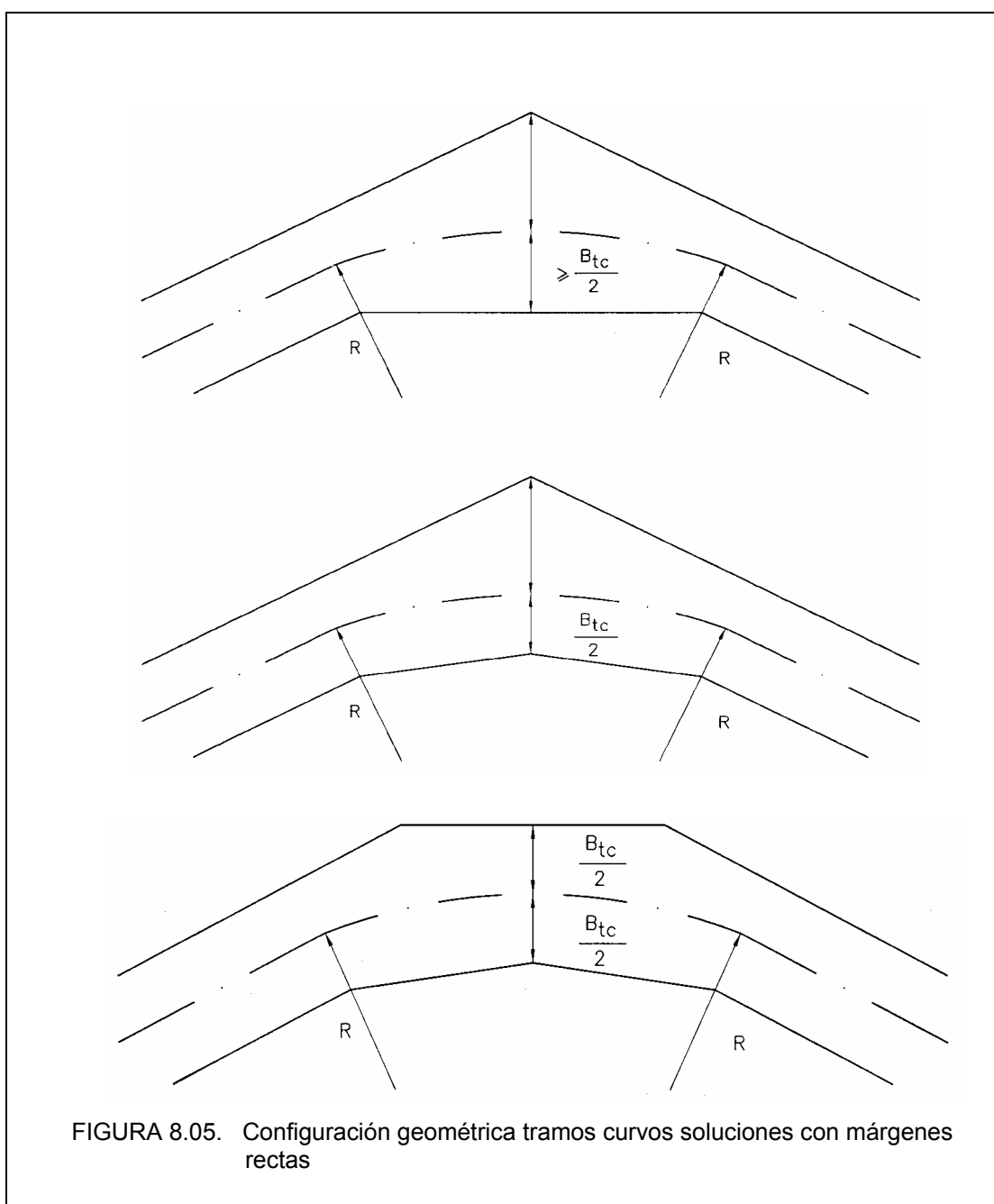
Maniobrabilidad del buque	$b_{rc}$
Buena	$0,20 \cdot (1,50 - E_{max}) \cdot B$
Media	$0,40 \cdot (1,50 - E_{max}) \cdot B$
Mala	$0,80 \cdot (1,50 - E_{max}) \cdot B$

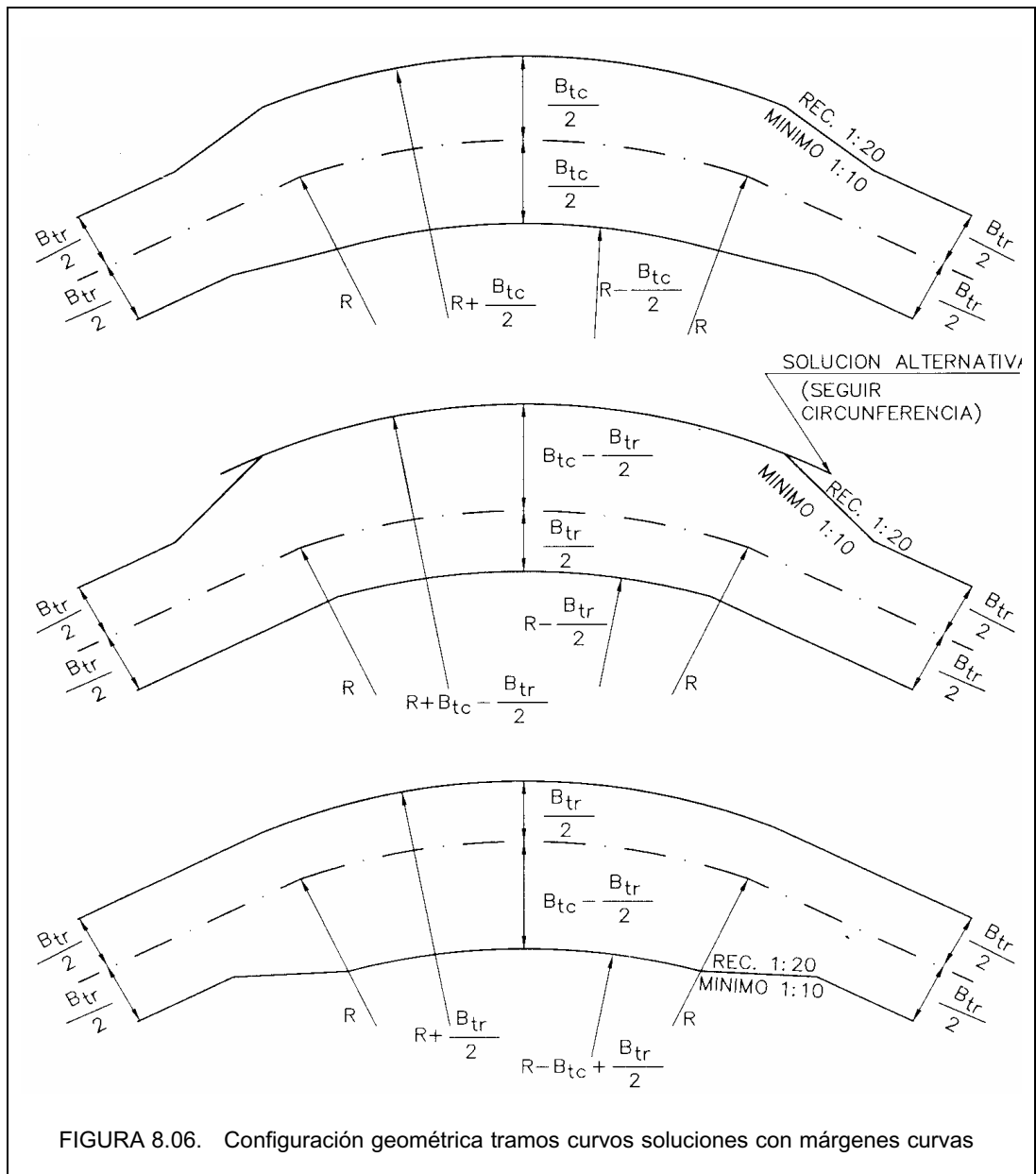
Para el dimensionamiento de vías navegables abiertas al tráfico general se utilizarán las condiciones de maniobrabilidad media de los buques.

Una vez determinada la anchura total de la vía navegable en la curva ( $B_{tc}$ ) y conocida la anchura en los tramos rectos ( $B_{tr}$ ) que concurren a ella (que pudiera ser diferentes en uno y otro tramo), la configuración geométrica de la misma y el trazado de sus márgenes se realiza habitualmente por uno de los métodos siguientes:

- Márgenes rectas.
- Márgenes curvas.

Las características geométricas de los sistemas más habituales que se utilizan en uno y otro método se recogen en la fig. 8.05 y 8.06. Los métodos de los márgenes rectos son los que peor se ajustan a las condiciones geométricas del trazado, a la vez que tienen el inconveniente de originar corrientes secundarias desfavorables, sin embargo son más sencillos de balizar y de ejecución del dragado. Para los métodos con las márgenes cur-





vas y suponiendo que el radio de la traza no sea estricto, es preferible desarrollar soluciones en las que el sobreecho esté situado hacia el interior de la curva (configuraciones 1ª y 3ª de la figura) porque, al tener el buque como referencia de navegación la margen interior, anticipa las maniobras para el paso de la curva ajustando progresivamente el ángulo del timón.

#### 4. Navegación en tramos curvos con condiciones climáticas variables a lo largo de la traza

Cuando la navegación se efectuó en tramos curvos con condiciones climáticas variables a lo largo de la traza, la anchura de la vía de navegación se determinará adicionando a la anchura de navegación en tramos rectos las necesidades de espacio de ambas causas, tal como se definen en los apartados 2 y 3 de este artículo 8.4.3.2.a. La formulación matemática de la anchura nominal ( $B_n$ ) de la vía navegable en el caso más complejo sería:

$$B_n = B + (b_d + b_{dvi} + b_{dvd} + b_{dc}) + 2(b_e + b_r + b_{rc} + b_b) + (rh_{sm} + rh_{sd})_i + (rh_{sm} + rh_{sd})_d$$

en donde todos los símbolos tienen el significado recogido en los párrafos anteriores.

La configuración geométrica resultante se establecerá por aplicación de los criterios establecidos para uno y otro caso, sin que sea generalizable una solución única a la vista de la variedad de los supuestos planteables.

b) VIAS CON DOS CARRILES DE NAVEGACION

La determinación de la anchura de una vía de navegación dotada de dos carriles se realizará de un modo similar al definido para vías de un solo carril, analizando en primer lugar la navegación en tramos rectos en condiciones climáticas constantes y contemplando posteriormente la incidencia en la navegación de condiciones climáticas variables a lo largo de la traza o la de navegación en curva. Dado que estos dos casos no presentan especialidad alguna derivada del hecho de tratarse de una vía con dos o más carriles de navegación, salvo por supuesto, considerar los sobrecanchos adicionales que deben darse a cada carril, se analiza sólo en detalle la navegación en tramos rectos en condiciones climáticas constantes.

El criterio general de diseño para todos los casos consiste en dimensionar cada carril independientemente, estableciendo una zona o banda de separación intermedia con anchura diferente ( $b_s$ ) según las características de la vía y del tráfico, y manteniendo el Resguardo adicional de seguridad a cada lado de la vía navegable ( $rh_{sm}$ ) para permitir la navegación del buque sin que resulte afectada por los efectos de succión y rechazo de las orillas, así como el Margen de Seguridad ( $rh_{sd}$ ) que deberán quedar siempre disponibles entre el buque y los taludes o cajeros de la vía navegable. Tanto al Resguardo de Seguridad ( $rh_{sm}$ ) como al Margen de Seguridad ( $rh_{sd}$ ) podrán ser diferentes a una y otra margen según la naturaleza de las mismas y las condiciones de operación de la vía.

1. Navegación en tramos rectos con condiciones climáticas constantes a lo largo de la traza

La anchura nominal de una vía de navegación de tramo recto, dotada de dos carriles dimensionados para el mismo buque de diseño, en el supuesto de que las condiciones climáticas, marítimas y meteorológicas (vientos, oleajes y corrientes) sean constantes a lo largo de la traza, se determinará como suma de las componentes siguientes (ver fig. 8.07).

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

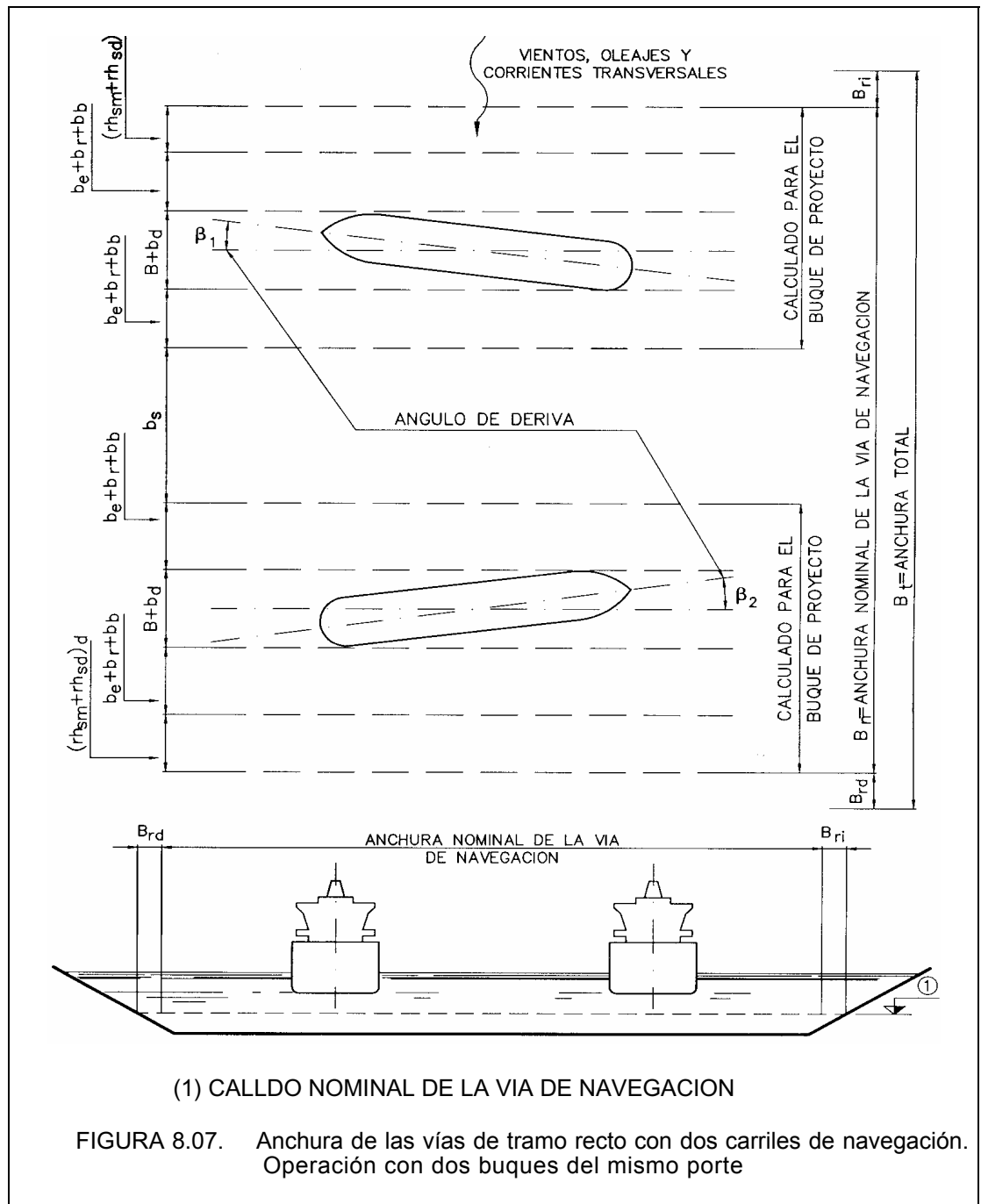
en donde todas las expresiones tienen el mismo significado que en el apartado a.1 de este artículo y « $b_s$ » es la anchura de la banda de separación entre las dos vías, calculada como suma de la proveniente de los dos factores siguientes, determinados en el supuesto de que la operación se realice con prácticos o capitanes experimentados en el emplazamiento considerado:

	$b_s$	
	Vías navegables en áreas expuestas	Vías navegables en aguas protegidas
Vías con adelantamiento no permitido (sólo cruzamiento)		
— 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

Vías con adelantamiento permitido      Incrementar los factores anteriores en un 50%

En donde la velocidad absoluta del buque será la mayor compatible con las Normas de Operación de la vía navegable, y la densidad de tráfico se determinará tomando en consideración el movimiento de buques en ambos sentidos (excluidas embarcaciones pesqueras y deportivas, salvo que sean los Buques de Proyecto de la vía navegable)

En el supuesto de que las Normas de Operación de la vía navegable establezcan que el cruce o adelantamiento de los buques de mayores desplazamientos sólo está permitido con buques menores hasta un cierto rango, la anchura nominal de la vía de navegación podría ajustarse a las dimensiones siguientes (ver fig. 8.08).

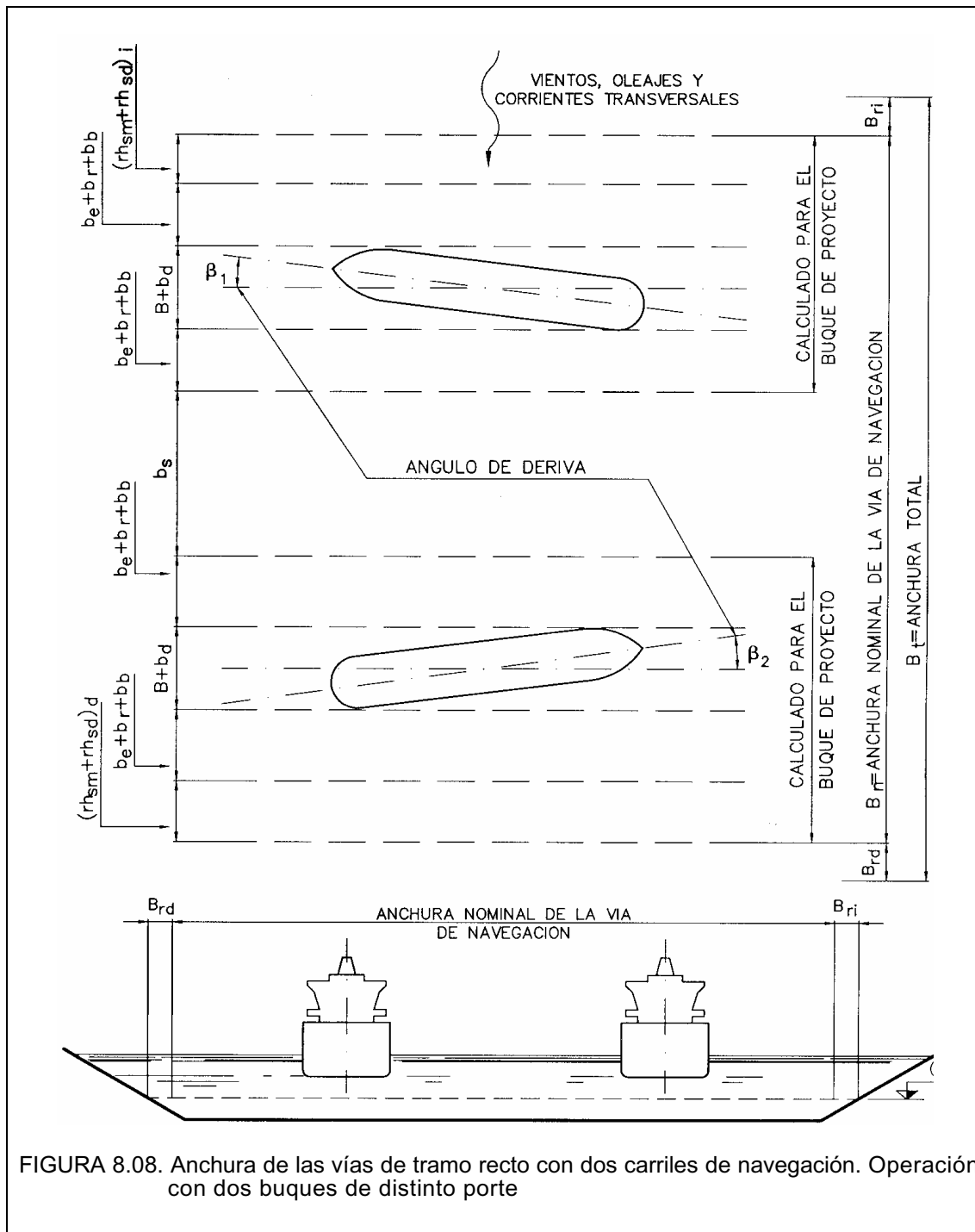


$$\begin{aligned}
 B_n = & [B + b_d + 2(b_e + b_r + b_b)] \text{ del buque de diseño} + \\
 & + [B + b_d + 2(b_e + b_r + b_b)] \text{ del buque menor} + \\
 & + [b_s] \text{ del buque de diseño} + \\
 & + [(r_{h_{sm}} + r_{h_{sd}})_i + (r_{h_{sm}} + r_{h_{sd}})_d] \text{ unos del buque de diseño y otros del buque menor}
 \end{aligned}$$

en donde todas las expresiones tienen los significados definidos en el párrafo anterior.

## 2. Navegación en tramos rectos con condiciones climáticas variables a lo largo de la traza

Se mantendrán los criterios establecidos en el apartado b.1 de este artículo 8.4.3.2 sin más que considerar los sobreamchos adicionales « $b_{av}$ » de cada una de las sendas del buque calculados según se indica en el apartado 8.4.3.2.a.2 Estos sobreamchos se mantendrán en una longitud igual a la establecida en dicho apartado, es decir, en todo el tramo



afectado por las condiciones climáticas variables, más una longitud adicional (l) aguas arriba y aguas abajo de valor

$$l = 2 \cdot V \cdot t_c$$

con los mismos significados recogidos en el citado apartado a.2.

Para situar correctamente las anchuras resultantes tomando en consideración los distintos sobreeanchos que puedan ser exigidos a una y otra banda se recomienda, con carácter general, mantener invariable a lo largo de todo el tramo el eje de la vía de navegación (eje de la banda de separación si ambos carriles están dimensionados para los mismos buques de diseño, o línea equidistante de los bordes de la anchura nominal de la vía navegable en caso contrario). La transición a la anchura requerida en los tramos anterior y posterior de la vía navegable se efectuará con variaciones en planta no mayores de 1 : 10 (preferentemente 1:20) en cada una de las márgenes. Ver figura 8.09. Esta transición con-



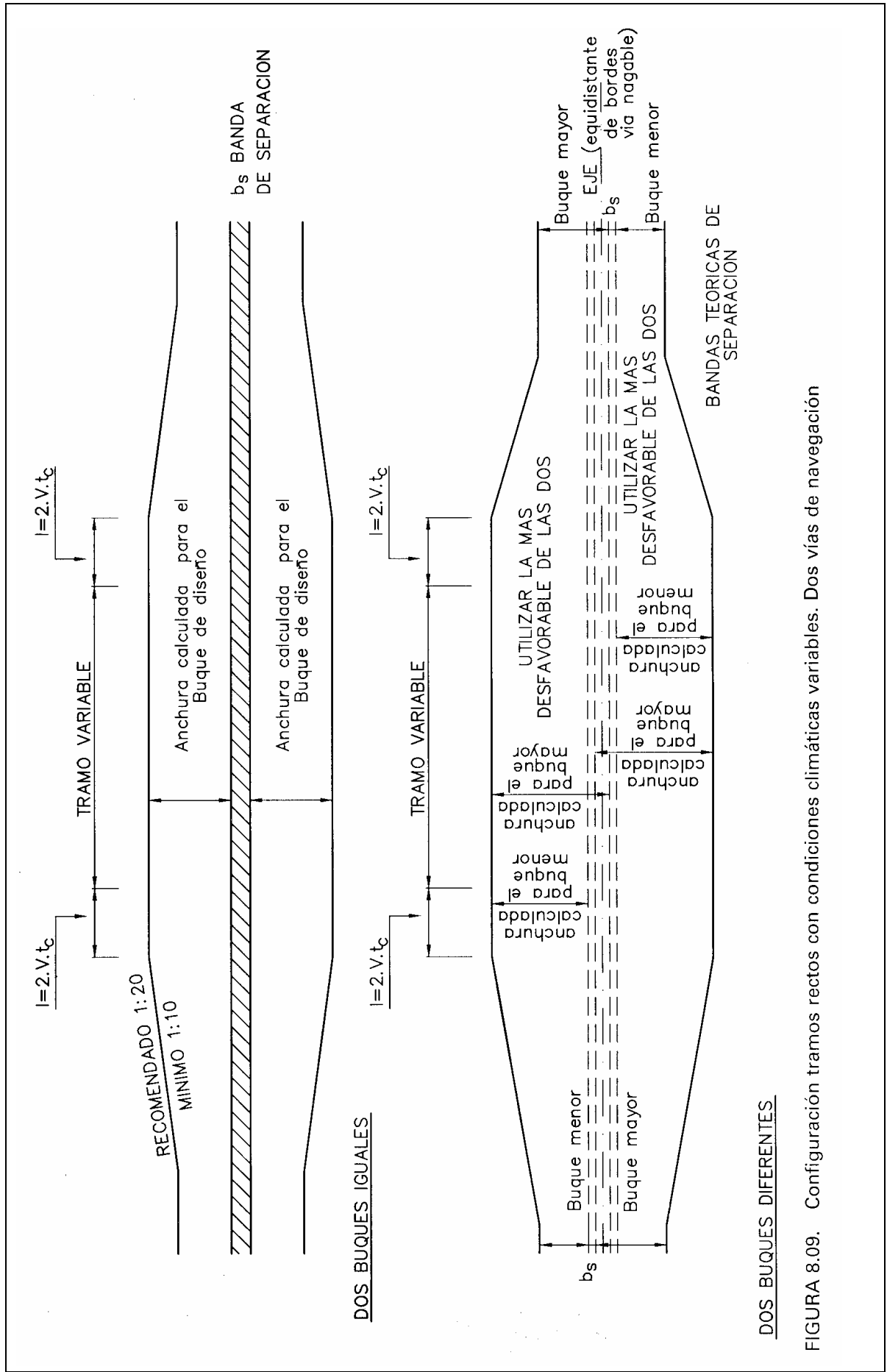


FIGURA 8.09. Configuración tramos rectos con condiciones climáticas variables. Dos vías de navegación

lleva variar los ejes de ambos carriles de navegación en relación con las alineaciones rectas que tuviesen aguas arriba o aguas abajo del tramo de condiciones climatológicas variables, condición que es necesaria para minorar los costos del dragado; en el supuesto de que alguno de los tramos de aguas arriba o aguas abajo no tuviese limitaciones de espacio y calado (por ejemplo en canales de aproximación) se recomienda mantener también la alineación recta de los ejes de cada uno de los carriles de navegación, separándolos entre sí a la mayor distancia requerida en este tramo, para facilitar la navegación y el balizamiento de la vía.

### 3. *Navegación en tramos curvos con condiciones climáticas constantes a lo largo de la traza*

Se mantendrán los criterios establecidos en el apartado b.1 sin más que considerar los sobreeanchos  $b_{dc}$  y  $b_{rc}$  calculados según se indica en el apartado a.2, para cada uno de los dos carriles de navegación.

Para definir la configuración geométrica de la curva y el trazado de las márgenes se seguirán los esquemas de las figuras 8.05 y 8.06 replanteados a partir del eje del carril interior de la curva, que es el más estricto para el cumplimiento de las prescripciones de radio mínimo.

### 4. *Navegación en tramos curvos con condiciones climáticas variables a lo largo de la traza*

Cuando la navegación se efectúe en tramos curvos con condiciones climáticas variables a lo largo de la traza, la anchura de la vía de navegación se determinará adicionando a la anchura de navegación en tramos rectos las necesidades de sobreeancho requerido por ambas causas, tal como se definen en los apartados b.2 y b.3 de este artículo.

La formulación matemática de la anchura nominal ( $B_n$ ) de la vía navegable en el caso más complejo correspondiente al supuesto de que los dos carriles de navegación estén dimensionados por el mismo Buque de Proyecto, sería:

$$B_n = 2[B + b_d + b_{dvi} + b_{dvd} + b_{dc} + 2(b_e + b_r + b_{rc} + b_b)] + b_s + (rh_{sm} + rh_{sd})_i + (rh_{sm} + rh_{sd})_d$$

La configuración geométrica resultante se establecerá por aplicación de los criterios establecidos para uno y otro caso, sin que sea generalizable una solución, a la vista de la variedad de supuestos planteables.

### c) TRAMOS DE ADELANTAMIENTO Y CRUCE DE BUQUES EN VIAS DE UN SOLO CARRIL DE NAVEGACION

En el caso de tratarse de vías de un solo carril de navegación con una longitud y tiempo de recorrido considerable, puede ser aconsejable disponer de tramos específicos dimensionados para dos vías de navegación en los que puedan realizarse maniobras de cruzamiento o adelantamiento de buques. La utilización de estos tramos exigirá el establecimiento de sistemas de control de los buques desde tierra o la operación con prácticos a bordo.

En el supuesto de que se opte por esta solución los tramos de dos vías se implantarán en tramos rectos con condiciones climáticas constantes a lo largo de la traza, evitando desarrollarlos en tramos curvos o con condiciones climáticas variables.

La anchura del tramo de dos carriles de navegación se dimensionará con los criterios definidos en el apartado b.1 de este artículo 8.4.3.2, tomando en consideración el hecho de que la maniobra pueda realizarse por dos Buques de Proyecto, o por un Buque de Proyecto en simultaneidad con otro barco de menores dimensiones.

Como criterio general se mantendrá la misma alineación recta del eje de la vía navegable en el tramo de doble vía, que coincidirá por tanto con el eje de la banda de separación en el caso de dimensionamiento para dos buques iguales, o con la línea equidistante de los bordes de la anchura nominal de la vía navegable en caso contrario.

Los criterios de dimensionamiento, configuración general y transiciones de márgenes se establecerán del modo siguiente:

### 1. Tramo previsto para adelantamiento de buques

Se supondrá que, en el tramo anterior, los barcos navegan a una velocidad reducida (40% de la velocidad absoluta máxima admisible en la vía navegable « $V$ ») manteniendo una distancia exenta entre ambos barcos igual a la distancia de parada « $D_p$ » más el espacio recorrido durante un tiempo de reacción « $t_r$ » de 60 s. Esta posición relativa se mantendrá hasta que el barco adelantado se encuentre en el tramo de doble vía.

A partir de esa posición se supondrá que el barco adelantado mantiene la velocidad reducida (40%) mientras que el barco que le sobrepasa se desplaza a una velocidad media doble de la anterior (80% de la velocidad absoluta máxima admisible en la vía navegable), régimen que se mantendrá durante un tiempo « $T_a$ » hasta que este barco sobrepase al adelantado en una distancia exenta igual a la considerada al inicio de la maniobra. Al alcanzarse esta posición final el barco adelantado deberá mantenerse aún en el tramo de doble vía. Con estos supuestos se dimensionará el tramo de manera que los espacios disponibles tengan como mínimo el doble de longitud de las teóricamente necesarias. Las transiciones de anchura se efectuarán con variaciones en planta no mayores de 1:10 (preferentemente 1:20) en cada una de las márgenes. Ver figura 8.10 determinado para el supuesto de que los dos buques sean de la misma dimensión « $L$ » (Eslora total).

### 2. Tramo previsto para cruzamiento de buques

Dado que la longitud del tramo con anchura de doble vía depende de la simultaneidad o decalaje con que ambos barcos concurren a uno y otro orígenes del tramo, se supondrá como hipótesis más desfavorable que esta coincidencia no se produce y por tanto que cualquiera de los dos barcos que acceda a la zona de cruzamiento con una velocidad reducida (40% de la máxima absoluta admisible en la vía navegable « $V$ ») pueda pararse al menos en un área de espera (muelle, amarradero, fondeadero, etc.) situada al comienzo o final de la zona de doble anchura (preferentemente en el punto que permita que los buques salgan sin esperar y que la espera por tanto corresponda a los buques que entran), por lo que el desarrollo longitudinal del tramo necesitará espacio para la Distancia de parada ( $D_p$ ) más el espacio recorrido durante un tiempo de reacción « $t_r$ » de 60 s. más la eslora total « $L$ » del buque de diseño. Con estos supuestos se dimensionará el tramo de manera que los espacios disponibles tengan como mínimo el doble de longitud de la teóricamente necesaria. Las transiciones de anchura se efectuarán con variaciones en planta no mayores de 1:10 (preferentemente 1:20) en cada una de las márgenes. Ver figura 8.11.

Los espacios necesarios para el área de espera se desarrollarán al margen de la vía de navegación, manteniendo un espacio de reserva de  $2,5 B$  ( $B$  = manga del buque de diseño) entre el borde de la vía navegable y la posición más avanzada que pueda alcanzar el buque fondeado o amarrado).

#### d) DESARROLLO DE VIAS DE NAVEGACION SOBRE LOS TALUDES DE LOS CAJEROS DE LA VIA PRINCIPAL

En el caso habitual de que la vía de navegación tenga sus cajeros en talud es posible implantar vías de navegación para embarcaciones menores con esloras limitadas a un máximo de 20 m (pesqueros, deportivas, etc.), situándolas paralelas y exteriores a la vía principal, aprovechando los calados disponibles sobre estos taludes. De optarse por esta solución se considerará que la vía principal y las embarcaciones menores son siempre independientes, manteniendo por tanto una banda de separación de anchura « $b_s$ » entre ellas (ver apartado b.1 de este artículo), estableciéndose el oportuno sistema de balizamiento para evitar errores de navegación. En el supuesto de establecerse estas vías específicas para embarcaciones menores, será preceptivo que este tipo de embarcaciones utilicen siempre estos carriles, incluso aunque no exista tráfico sobre la vía principal.

#### e) VIAS CON MAS DE DOS CARRILES DE NAVEGACION

En el caso de que se proyecten vías de navegación con más de dos carriles se mantendrán los criterios de diseño establecidos para vías de dos carriles, de manera que cada carril pueda atender a su función independientemente.

Las configuraciones geométricas se proyectarán de manera que la navegación de los buques pueda realizarse del modo más simplificado posible, tomando en consideración el sistema de balizamiento previsto.

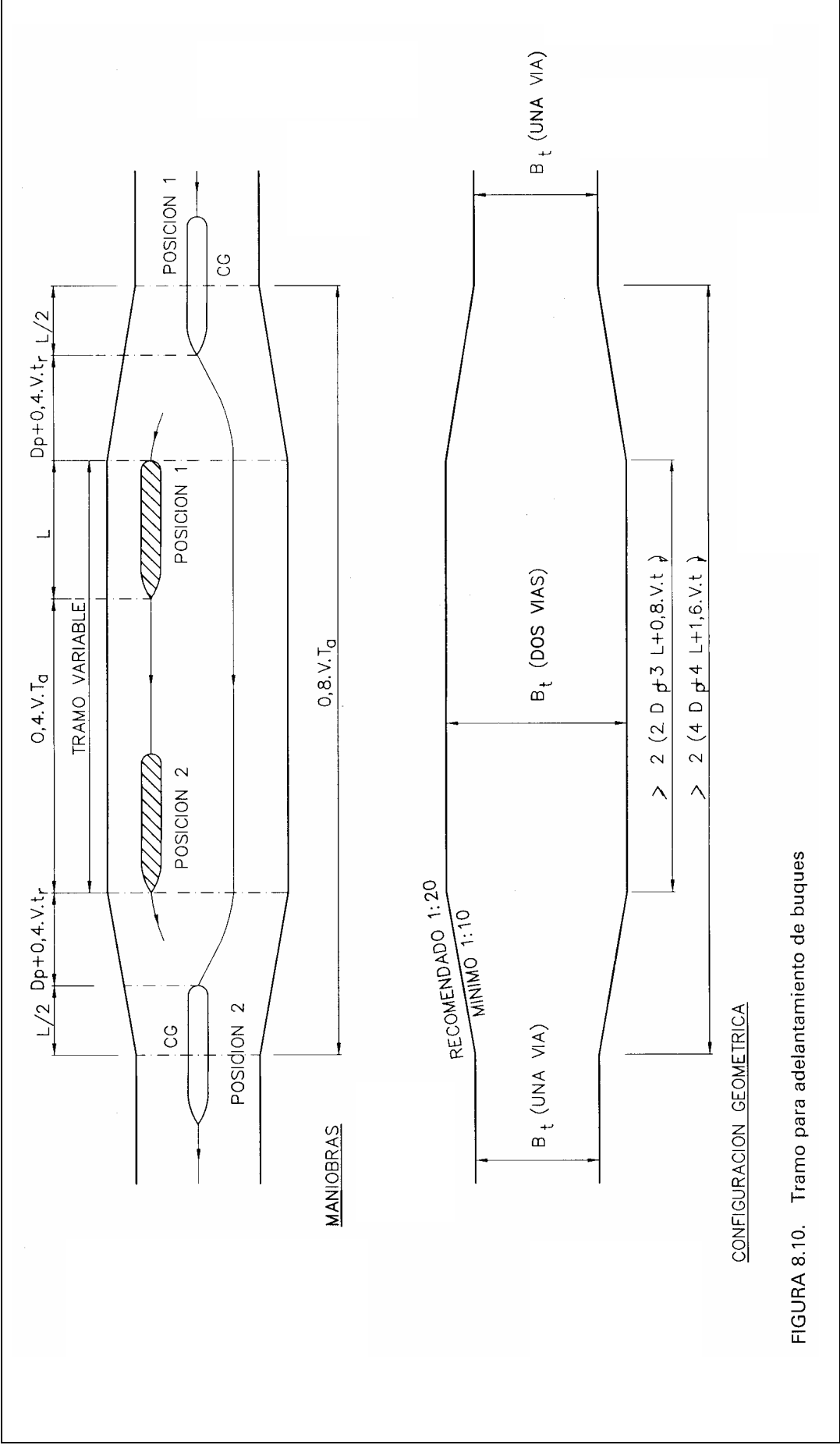


FIGURA 8.10. Tramo para adelantamiento de buques

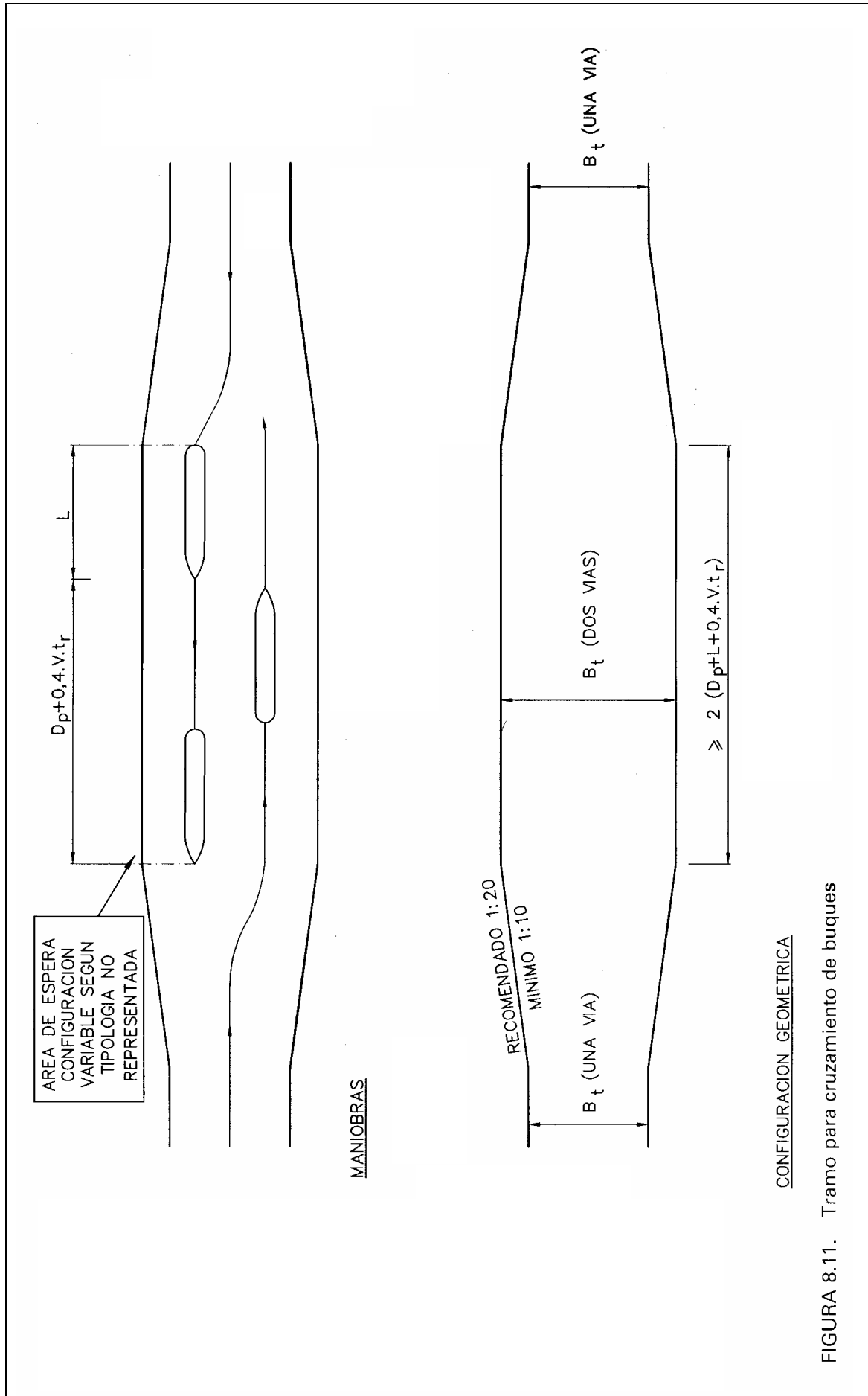


FIGURA 8.11. Tramo para cruzamiento de buques

### 8.4.3.3. DETERMINACION DE LA ANCHURA NOMINAL « $B_n$ » POR EL METODO SEMIPROBABILISTICO

En este procedimiento el dimensionamiento geométrico de la vía navegable se basa fundamentalmente en el análisis estadístico de la ocupación de espacios por los buques en las diferentes maniobras que se consideren, lo que permitirá, en el caso de disponer de un número suficiente de repeticiones de las maniobras, asociar el dimensionamiento resultante al riesgo previamente establecido en cada caso.

La aplicación práctica de este método podrá realizarse en base a estudios con simulador, ensayos a escala reducida, mediciones en tiempo real o procedimientos similares, que pueden reproducir el problema planteado con mayor o menor precisión. En la Parte 9 de esta ROM se recogen los aspectos principales de los Modelos de Simulación, que son la herramienta más frecuentemente utilizada para este tipo de estudios.

Previamente a la utilización de este método deberá conocerse con precisión las características del sistema utilizado y sus limitaciones, determinando qué aspectos de la realidad no son reproducibles con el modelo utilizado (p.e. balizamiento y las imprecisiones asociadas a él), puesto que todas aquellas condiciones que no puedan modelizarse deberán ser consideradas por otros procedimientos. El esquema seguido en esta ROM es que en todos estos aspectos que los modelos de simulación no consideren, se utilizará para su valoración los mismos criterios que se han definido para el método determinístico; en particular los Márgenes de Seguridad ( $rh_{sd}$ ) se valorarán exactamente igual en ambos métodos.

El análisis efectuado con estos procedimientos estudia normalmente diferentes trayectorias de buques, recorriendo tramos completos de la vía navegable, en los que podrían presentarse tramos rectos o curvos, así como condiciones climáticas constantes o variables a lo largo de la traza, que podrán así ser estudiados en conjunto, analizando con mayor precisión la interacción entre unas y otras. La mayoría de los simuladores actuales analizan en cada trayectoria el caso de una vía en la que sólo existe un buque en navegación, por lo que, en general, e estudio de las vías con dos carriles de navegación, en cualquiera de los supuestos del apartado 8.4.3.2 exigirá tomar en consideración una zona o banda de separación intermedia con anchura ( $b_s$ ) calculada como allí se indica.

El procedimiento general de dimensionamiento comprenderá las fases siguientes:

- 1.º Conocer el modelo a utilizar y las limitaciones del mismo, especialmente aquellos aspectos que no puedan reproducirse en el estudio y que deberán ser abordados por procedimientos determinísticos.
- 2.º Conocer las características de la vía de navegación y de su entorno (definición geométrica de la traza, batimetría y niveles de agua, clima marítimo existente en la zona, etc.). El nivel de definición requerido a este respecto puede variar significativamente según el sistema de simulación utilizado.
- 3.º Definir los sistemas de señalización y balizamiento que se pueden instalar, así como la forma en que se incorporan al simulador.
- 4.º Definir las condiciones climáticas límites de operación según el tipo y las dimensiones de los buques, los remolcadores disponibles o cualquier otra condición particular que se pueda definir en cada caso.
- 5.º Definir los remolcadores disponibles y su intervención en las maniobras en función del tipo y dimensiones de los buques, condiciones climáticas existentes o cualquier otra condición que se establezca.
- 6.º Concretar los «escenarios» que se van a reproducir en el simulador. Se entiende por «escenario» el conjunto de condiciones que definen una maniobra (que se repetirá varias veces para darla un tratamiento estadístico), comprendiendo al menos los aspectos siguientes:
  - El tipo de buque representativo del tramo de flota que quiera estudiarse.
  - Las condiciones climáticas límites de operación representativas del intervalo que se vaya a analizar.
  - Los remolcadores y otras ayudas a la navegación que estarán disponibles en esta operación.

- 7.° Definir el número de pasadas que se van a efectuar en el simulador repitiendo la maniobra correspondiente a un mismo escenario. En la medida que se disponga de un mayor número de pasadas aumentará la precisión del estudio, con la contrapartida de incrementar los costos de la simulación. Se recomienda utilizar un número de pasadas comprendido entre 12 y 15 para la realización de proyectos definitivos.
- 8.° Concretar las secciones transversales de la vía navegable en las que se va a efectuar la evaluación de espacios ocupados por el buque (pueden analizarse las secciones críticas, todas las secciones transversales a una separación geométrica o temporal predeterminada e incluso puede obtenerse un registro continuo de todas las sendas ocupadas por el buque en cada una de las trayectorias).
- 9.° Analizar estadísticamente los resultados obtenidos en el simulador, atendiendo a la finalidad del estudio. Si el objetivo es sólo determinar la anchura de la vía navegable el interés estará únicamente en los valores límites de la ocupación de espacios en las bandas de babor o estribor de la vía navegable; si además se quiere optimizar la traza de la vía será necesario analizar las desviaciones del centro de gravedad del buque en relación con la traza prefijada de referencia (ver figura 8.12). En todos los casos el proceso será determinar las funciones de densidad y las de excedencia, ajustando diferentes funciones de distribución (Normal, Gumbel, Weibull, etc.), para cada una de las secciones transversales de estudio, determinando sus coeficientes de correlación y seleccionando las funciones de mejor ajuste, que en general serán las de tipo simétrico para el estudio de la posición del centro de gravedad y las de tipo asimétrico cuando se analice la ocupación de espacios en cualquiera de las dos bandas.
- 10.° Seleccionar las funciones de distribución (preferentemente un mismo tipo para las bandas y otro para el centro de gravedad, si es preciso). Para optimizar el eje de la traza se utilizarán en cada sección los valores medios de la función de densidad de la desviación del centro de gravedad. Para analizar la anchura de la vía navegable, se utilizarán las funciones de probabilidad de excedencia, determinándose además las bandas de confianza más desfavorables (las que produzcan mayor ocupación) correspondientes al 95%; sobre estas bandas de confianza se calculará la probabilidad de excedencia ( $p_{ij}$ ) de que esa vía navegable sea sobrepasada en esa sección por un buque del tipo (i) en las condiciones de operatividad del intervalo (j) —escenario analizado— entrando así con el procedimiento descrito en el apartado 2.5 y particularmente en el subapartado 2.5.6.

La anchura nominal de la vía navegable con un solo carril de navegación determinada por este método semiprobabilístico será:

$$B_n = [\text{Anchura entre bandas calculada estadísticamente en función del riesgo «E» prefijado}] + [\text{sobreanchos debidos a efectos no contemplados en el simulador, que se calcularán con los criterios establecidos por el método determinístico}] + [\text{Margen de Seguridad «}rh_{sd}\text{» valorado con los criterios establecidos por el método determinístico}]$$

Para las vías con dos o más carriles de navegación, en cualquiera de las tipologías definidas en los subapartados b, c, d ó e del artículo 8.4.3.2.a, la anchura nominal de la vía navegable « $B_n$ » se calculará generalizando el criterio anterior, en función de las características del modelo de simulación utilizado e incluyendo en cualquier caso una banda de separación intermedia de anchura ( $b_s$ ) calculada con los criterios establecidos para el método determinístico. Para las configuraciones geométricas en planta representadas en las figuras 8.09, 8.10 y 8.11 se mantendrán dichos esquemas, salvo que se justifiquen otros distintos basados en los estudios de simulación, que respeten los criterios de dimensionamiento recogidos en esta ROM para métodos semiprobabilísticos.

#### 8.4.4. PUNTO DE NO RETORNO

En la práctica, en todas las vías de navegación de aproximación a puerto existirá un llamado «punto de no retorno», a partir del cual el buque no podrá parar (sin obstruir la vía de navegación), revirar para cambiar el sentido de la navegación, o fondear dejando libre el sentido de la navegación, y en consecuencia el buque deberá continuar su ruta hacia el puerto. Este «punto de no retorno» deberá estar situado lo más próximo posible a la entrada del puerto propiamente dicho, proporcionando espacios para permitir las maniobras de reviro, fondeo, amarre provisional o los que se prevean en cada caso, cuyas dimensiones se determinarán conforme se indican en otros apartados de esta Recomen-

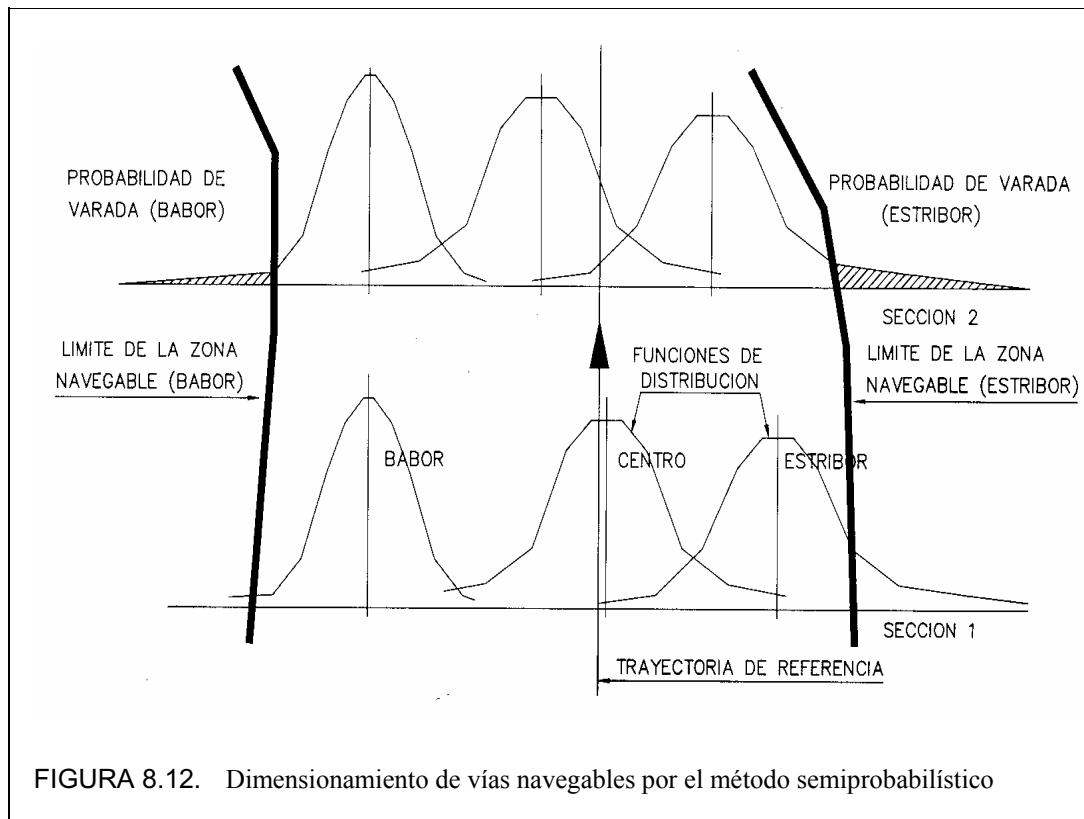


FIGURA 8.12. Dimensionamiento de vías navegables por el método semiprobabilístico

dación. Los espacios necesarios para fondeaderos y amarraderos se desarrollan al margen de la vía de navegación, manteniendo un espacio de reserva de  $2,5 B$  ( $B$  = manga del buque de diseño de la vía) entre el borde de la vía navegable y la posición mas avanzada que pueda alcanzar el buque fondeado o amarrado. El espacio necesario para el área de reviro podrá desarrollarse sobre la propia vía de navegación en el caso de que la densidad de tráfico, considerando el movimiento de buques en ambos sentidos, sea igual o menor de 1 buque/hora; para densidades de tráfico superiores se recomienda que el área de reviro quede implantado fuera de la vía de navegación, de manera que ésta mantenga su funcionalidad en todo momento.

En el caso de vías navegables muy largas y en función de las intensidades de tráfico que presenten, puede ser necesario disponer de varias zonas a lo largo de la vía con la misma finalidad que un «punto de no retorno».

#### 8.4.5. BALIZAMIENTO DE LAS VIAS DE NAVEGACION

##### a) CRITERIOS GENERALES

El balizamiento de las vías de navegación depende de las dimensiones y geometría de la vía, de las dimensiones de los buques que la utilicen, de la densidad de tráfico y de las condiciones límites de operación en las que se navegue por ella incluyendo entre estas la visibilidad mínima para la navegación que determina el Nivel de Servicio o porcentaje de tiempo en el que la navegación no puede realizarse por falta de viabilidad.

Para definir correctamente el balizamiento de una vía de navegación deben definirse previamente una serie de tramos en ella en función de la maniobra que se realice: cambio de rumbo, transición y navegación en tramo recto. El tipo de maniobra que se efectúa en cada tramo determina la información que debe facilitarse al buque por el sistema de balizamiento.

El tramo en el que se efectúa el cambio de rumbo del buque (tramos curvos de la vía de navegación) es donde se desarrollan las maniobras de mayor dificultad, y en las que se precisa que el capitán del buque realice frecuentes evaluaciones de la posición del barco tanto en sentido longitudinal como transversa a la vía navegable, así como de la velocidad con la que está navegando. Por esta razón el balizamiento de los tramos curvos de



la vía de navegación debe ser objeto de la mayor atención, intensificando en ellos el número de ayudas a la navegación.

En los tramos de transición es donde el navegante debe realizar los mayores esfuerzos para localizar la alineación recta subsiguiente y para maniobrar el buque dirigiéndole hacia ella. Para facilitar esta función el navegante necesita disponer de una información precisa de las márgenes de la vía navegable y de la posición del buque en relación con ellos. Tendrán la consideración de tramos de transición no sólo los inmediatamente anteriores y posteriores a un tramo curvo, sino también todos aquéllos en los que la navegación se efectúe en condiciones climáticas variables, así como el acceso a la vía de navegación desde mar abierto.

La longitud de los tramos de transición depende de las dimensiones y velocidad del buque que se considera y ha quedado ya definida en la mayor parte de los supuestos habituales en el apartado 8.4.3. Para otros casos que no queden cubiertos por dichas recomendaciones podrán adoptarse las siguientes longitudes de transición aplicables a buques que se desplacen a velocidades comprendidas entre 3 y 6 m/s (aprox 6 a 12 nudos).

Tamaño del buque (TPM)	Longitud del tramo de transición (m)
30.000	1.300
50.000	1.900
70.000	2.400
90.000	3.000
110.000	3.500

En los tramos rectos el interés del navegante es seguir el eje de la vía navegable sin intención de abandonarle y por ello no necesita un conocimiento preciso de las márgenes de la vía navegable.

El número y calidad de las ayudas a la navegación que se utilicen en estos tramos rectos dependerá de la precisión en el posicionamiento del buque que se quiera conseguir en función de los criterios adoptados para su dimensionamiento.

#### b) SISTEMA DE BALIZAMIENTO Y TIPOS DE AYUDAS A LA NAVEGACION

Dependiendo de los requerimientos y la situación de la vía de navegación, pueden utilizarse los tipos siguientes de ayudas a la navegación:

- Visuales (transmiten la información por vía visual, ya sean luminosas o ciegas).
- Radioeléctricas (transmiten la información mediante ondas radioeléctricas).
- Una mezcla de ambos.

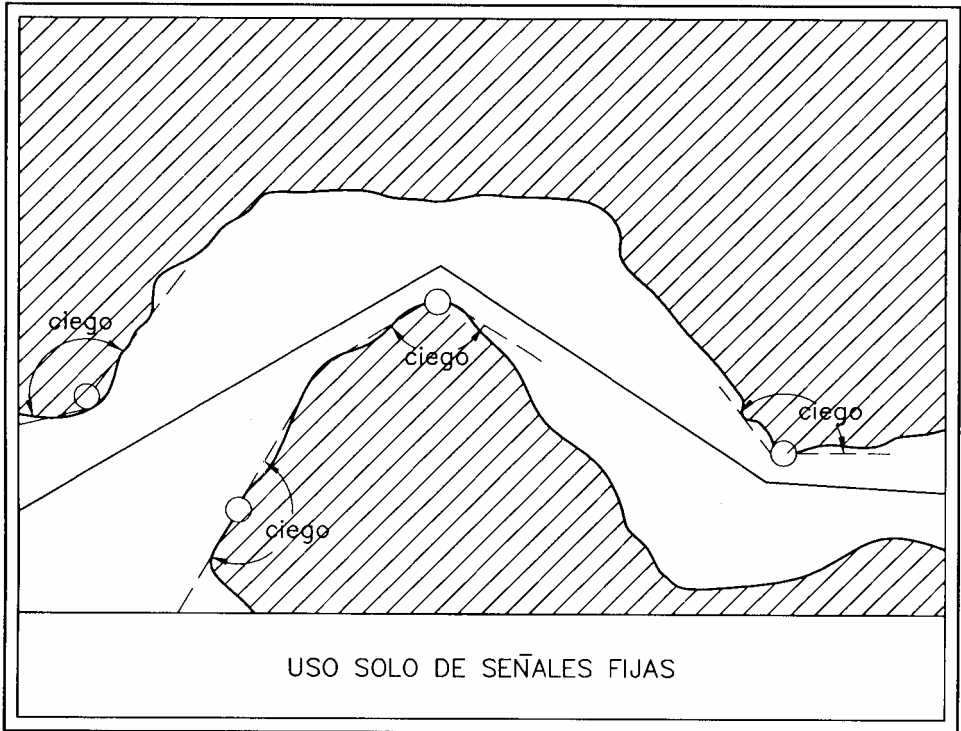
Adicionalmente a estos tipos pueden tomarse en consideración otras ayudas, tales como VTS (Servicios para el Tráfico de Buques), practicaje, condiciones naturales del emplazamiento, etc., que puedan estar a disposición del navegante.

Las boyas, balizas, enfilaciones, luces direccionales, luces de sectores, etc., que se utilicen deberán estar de acuerdo con el Sistema de Balizamiento Marítimo, la Guía para su Aplicación y las Recomendaciones de la AISM.

Es importante que, cuando se utilizan señales visuales para marcar la vía navegable, al navegar adelante pueda observarse la señal situada inmediatamente por delante del buque antes de que deje de verse la situada inmediatamente por detrás del mismo, de modo que se disponga siempre de dos referencias visuales simultáneamente. Esto puede conseguirse utilizando boyas, balizas, luces direccionales y luces de sectores.

En las figs. 8.13 a 8.20 se esquematizan algunas de las posibles soluciones a utilizar para el balizamiento de las vías navegables, tomadas de la Guía de Ayudas a la Navegación (NAVGUIDE) de la AISM.

En el supuesto de que se utilicen boyas o balizas fijas para señalar las márgenes de la vía navegable se recomienda la utilización de parejas de boyas o balizas, dispuestas transversalmente al eje de la vía. En las figs. 8.21 a 8.25 se recogen los esquemas mínimos que deberán ser utilizados para el balizamiento de tramos curvos y algunos otros tramos especiales.



EN VIAS NAVEGABLES NO CRITICAS

- SEÑAL FIJA
- SEÑAL FLOTANTE

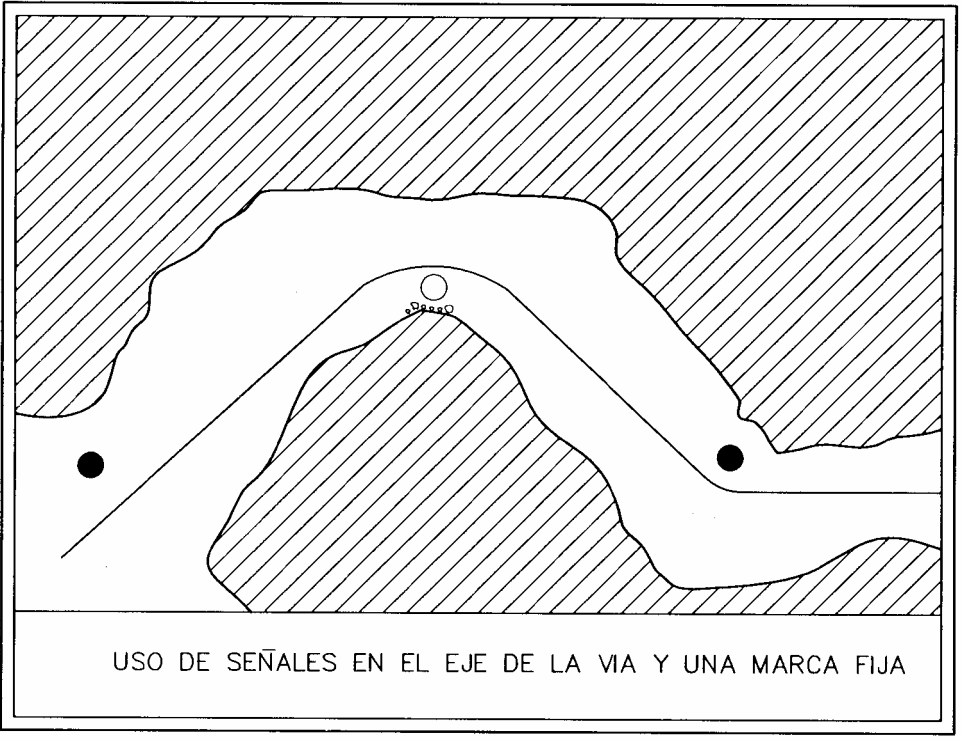
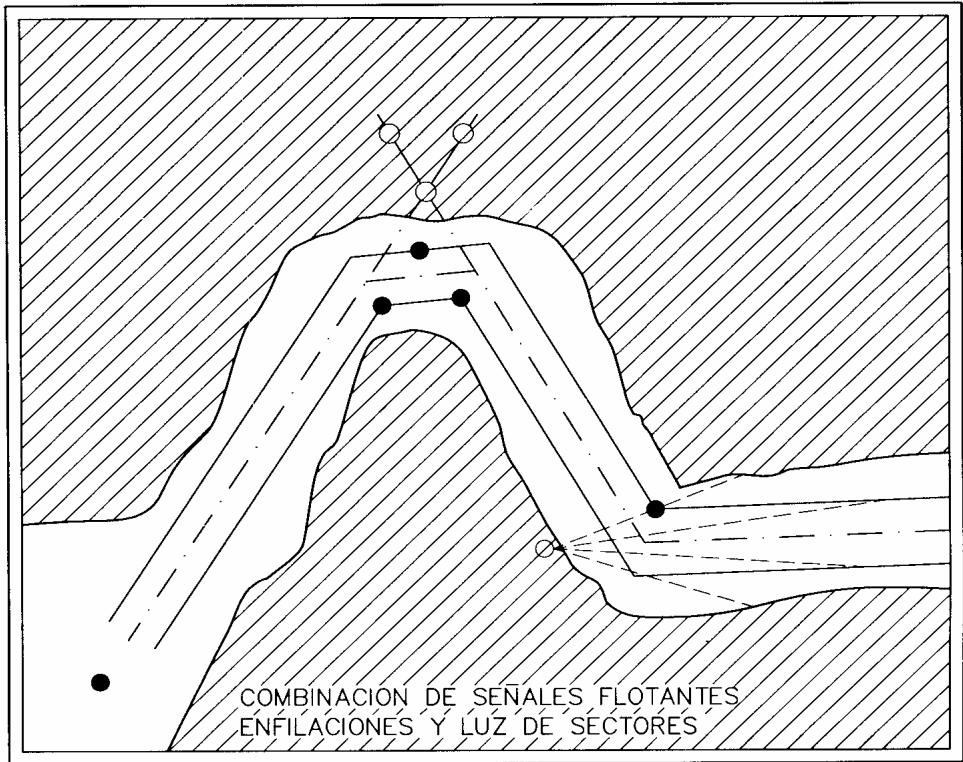
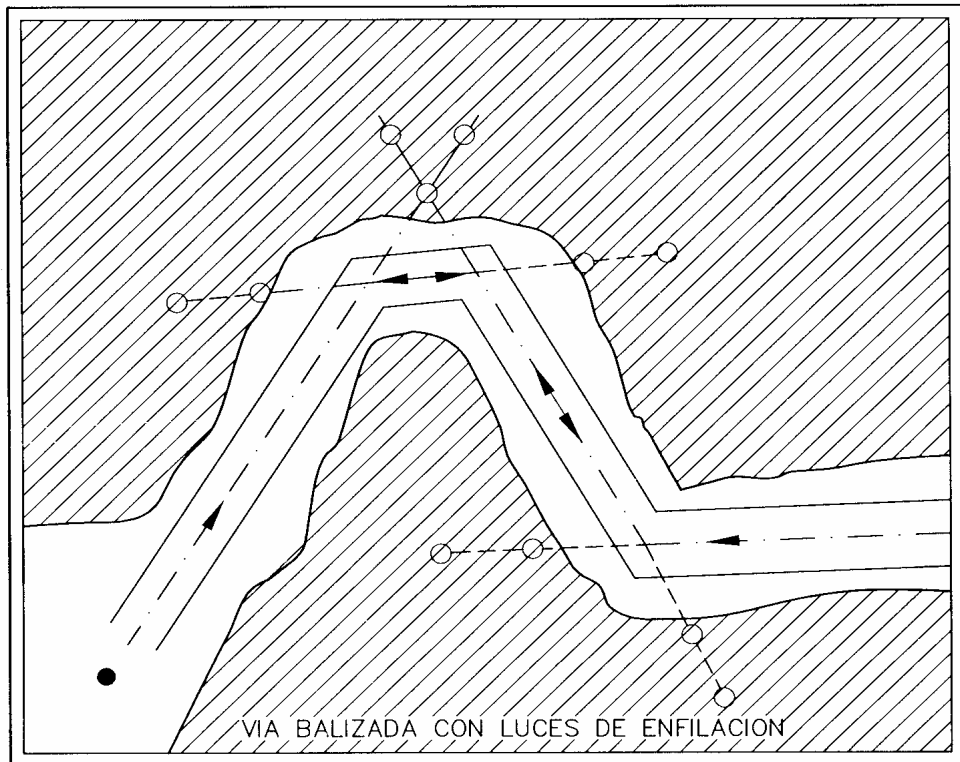


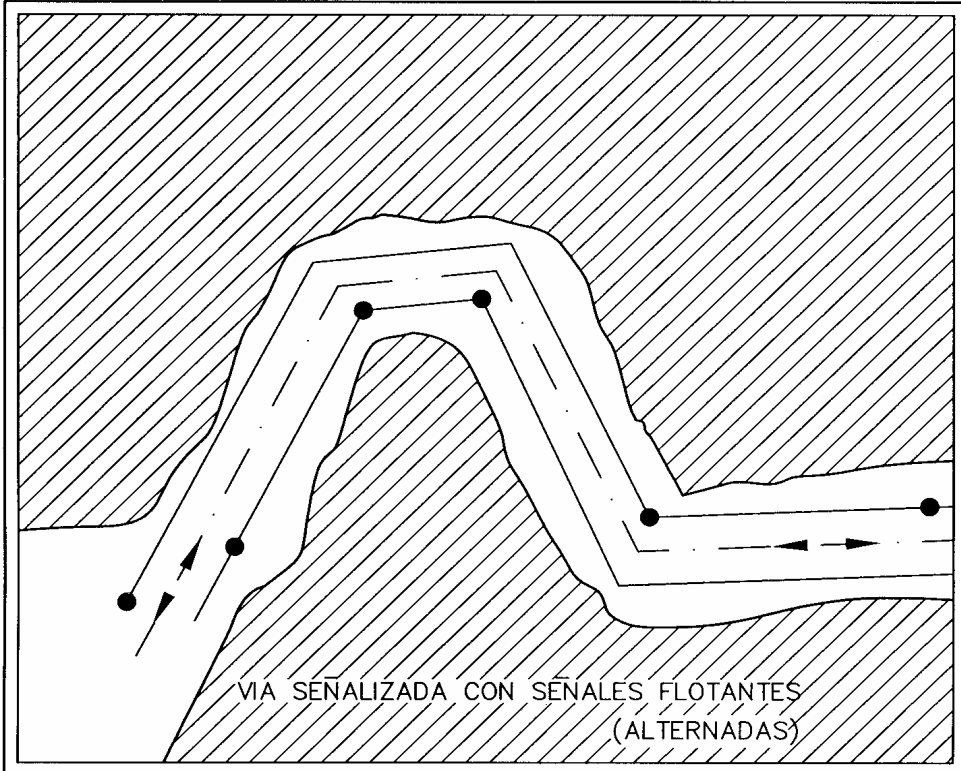
FIGURA 8.13 Y 8.14 Sistemas de balizamiento marítimo (AISM)



- |   |                |           |                  |
|---|----------------|-----------|------------------|
| ○ | SEÑAL FIJA     | ---       | EJE DE LA VIA    |
| ● | SEÑAL FLOTANTE | —         | MARGEN DE LA VIA |
|   |                | - - - - - | LUZ              |



FIGURAS 8.15 Y 8.16 Sistemas de balizamiento marítimo (AISM)



- |   |                |       |                  |
|---|----------------|-------|------------------|
| ○ | SEÑAL FIJA     | — · — | EJE DE LA VIA    |
| ● | SEÑAL FLOTANTE | — — — | MARGEN DE LA VIA |
|   |                | — · — | LUZ              |

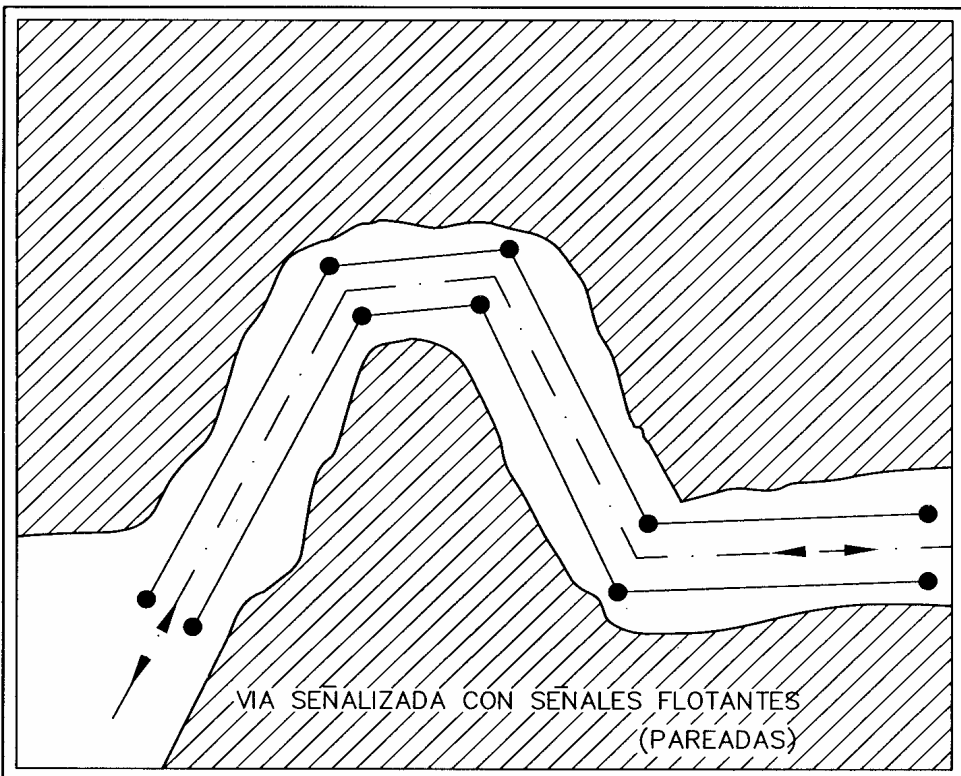
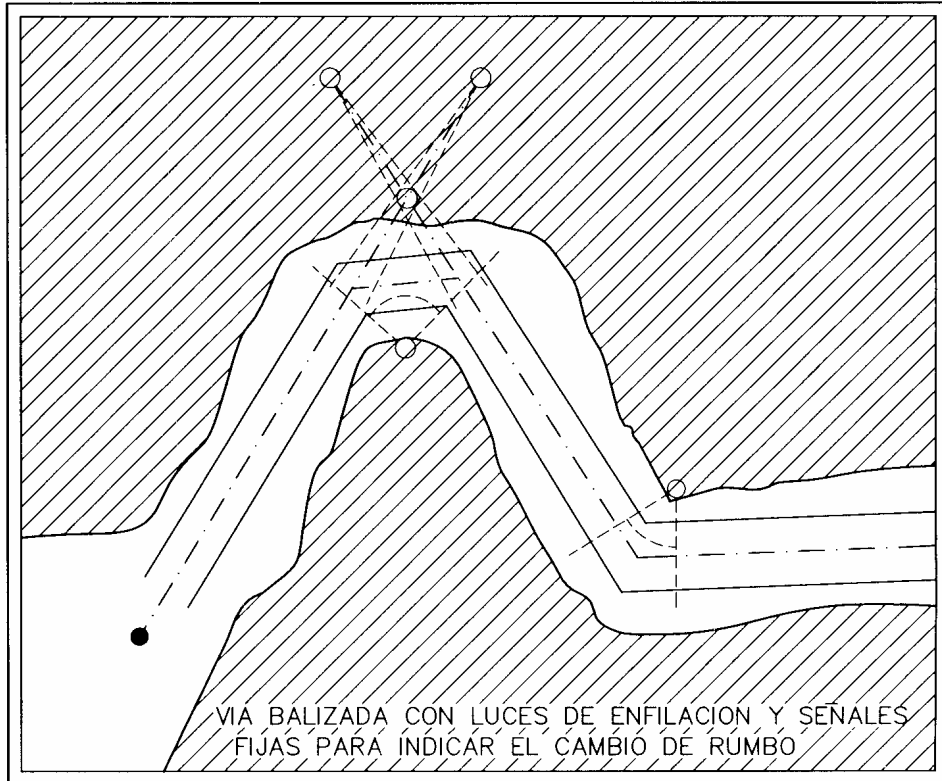
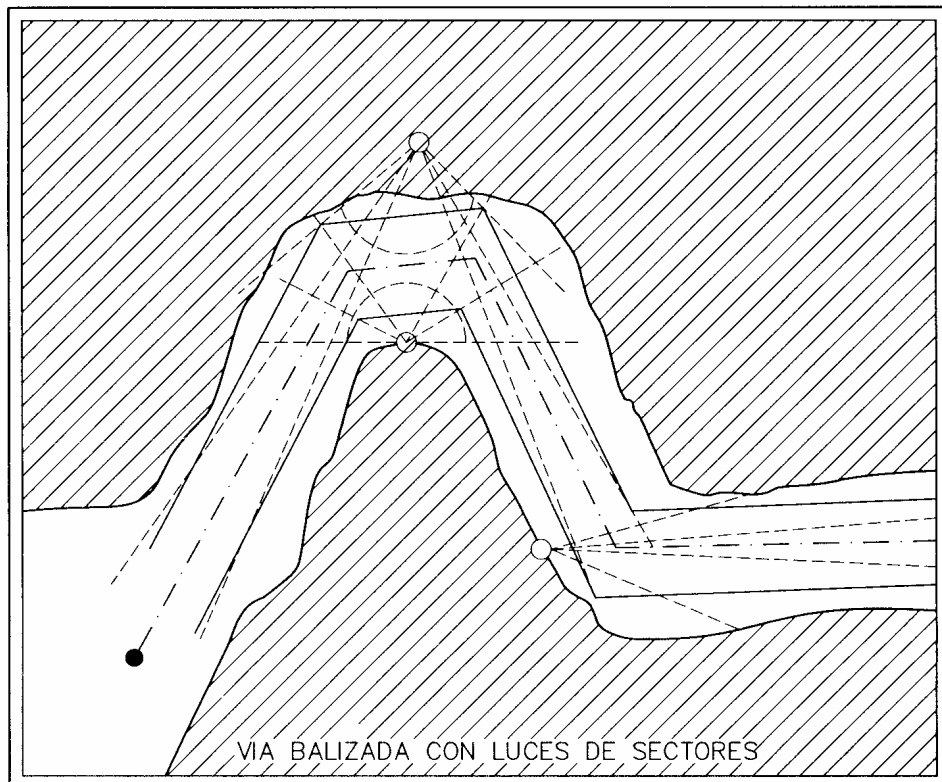


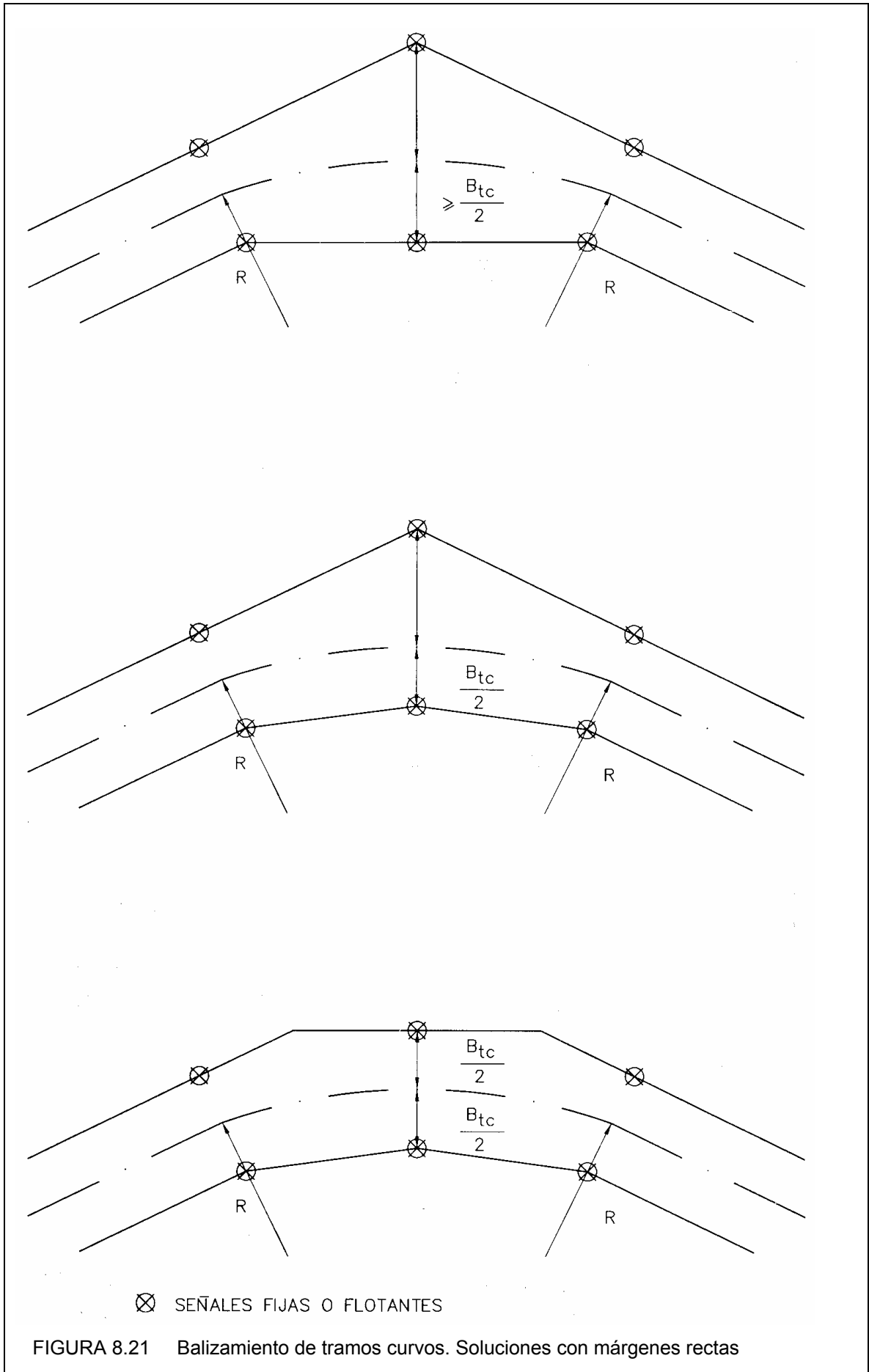
FIGURA 8.17 Y 8.18 Sistemas de balizamiento marítimo (AISM)

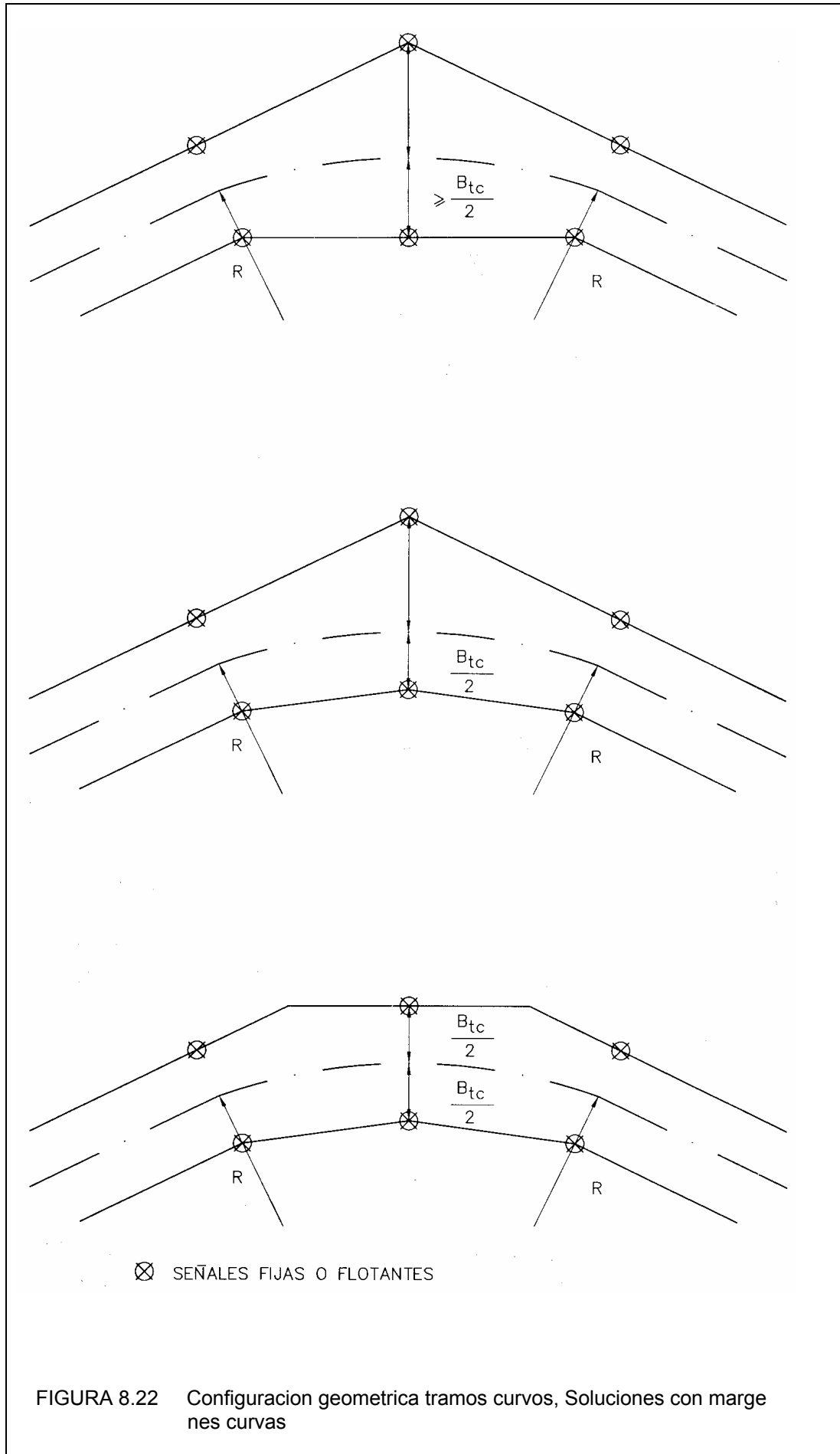


- |   |                |           |                  |
|---|----------------|-----------|------------------|
| ○ | SEÑAL FIJA     | -----     | EJE DE LA VIA    |
| ● | SEÑAL FLOTANTE | —————     | MARGEN DE LA VIA |
|   |                | - - - - - | LUZ              |



FIGURAS 8.19 Y 8.20 Sistemas de balizamiento marítimo(AISM)





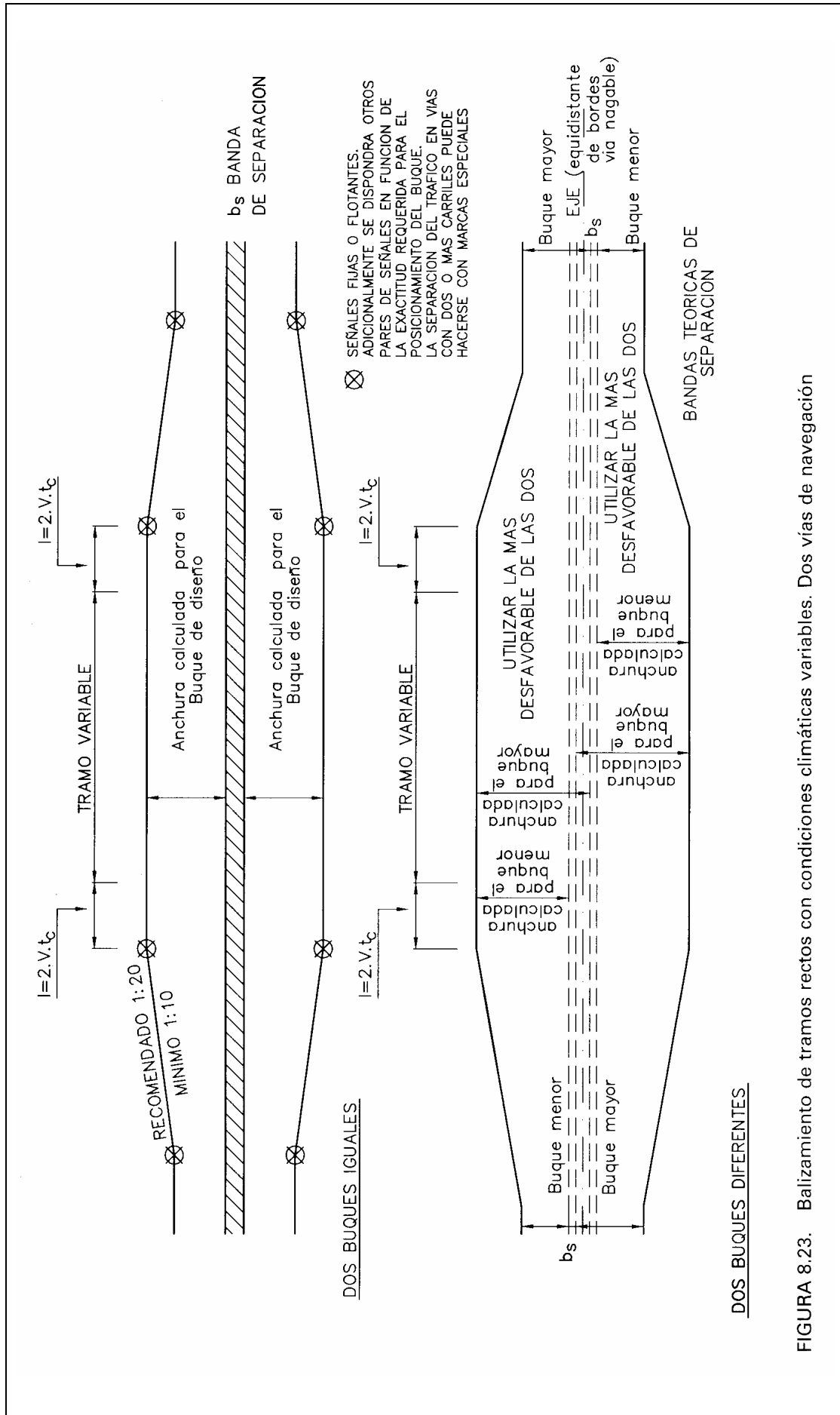


FIGURA 8.23. Balizamiento de tramos rectos con condiciones climáticas variables. Dos vías de navegación



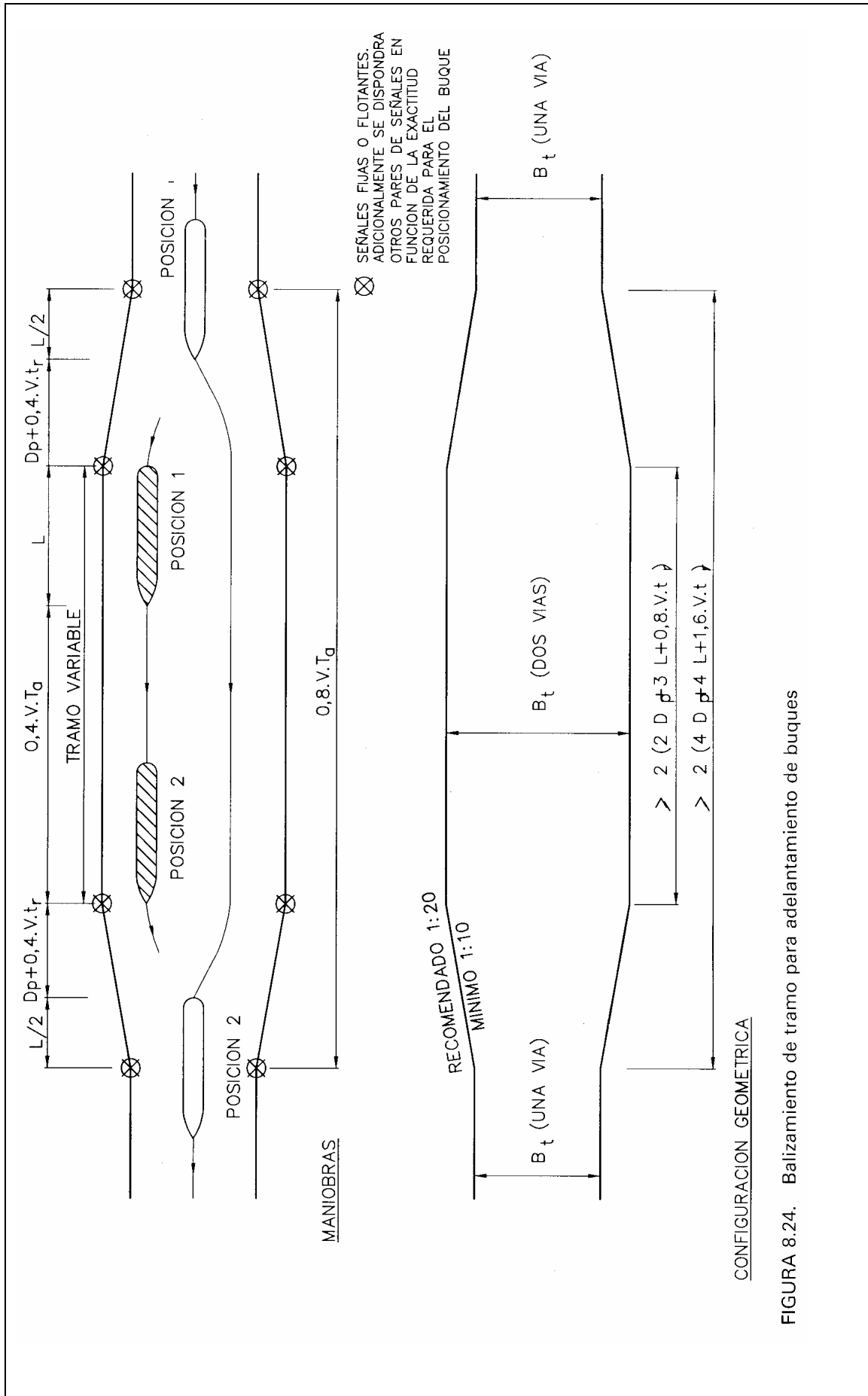
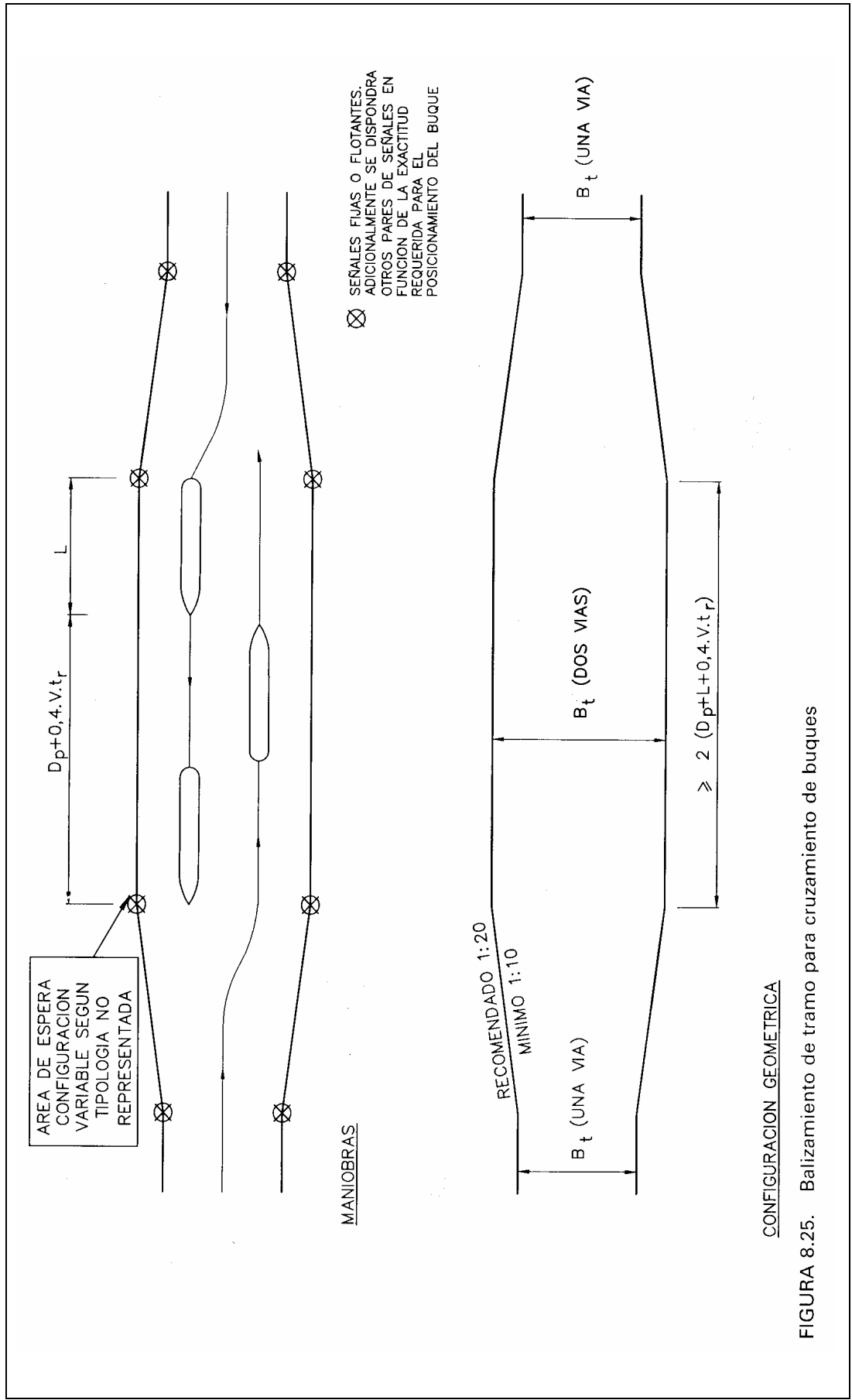


FIGURA 8.24. Balizamiento de tramo para adelantamiento de buques



## **8.5. BOCANAS DE PUERTOS**

### **8.5.1. FACTORES QUE AFECTAN A SU PROYECTO**

Las bocas de entrada y salida a puerto se proyectarán tomando en consideración los siguientes condicionantes principales:

- La configuración general del puerto y la integración de la bocana o bocanas del puerto en sus infraestructuras (diques, contradiques, muelles, dragados, etc.) y en sus áreas de flotación (vías de navegación, fondeaderos, áreas de maniobras de buques, dársenas, etc.), así como la morfología y tipología estructural de los elementos que configuran la bocana.
- La navegación de entrada y salida de los buques al puerto, contemplando tanto las intensidades de tráfico previsible, como los mayores buques de diseño que se prevea operen en el 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, en función de los usos que se prevea desarrollar en cada una de ellas.
- La conveniencia de limitar los períodos 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 (rotura del oleaje en la boca del puerto, generación de fuertes corrientes transversales, etc.).
- La dinámica litoral existente en la zona y las modificaciones que se puedan producir en ella a consecuencia de las propias infraestructuras portuarias, tomando en consideración no sólo las afecciones que puedan producirse en el propio puerto (aterramientos de la bocana y de otras áreas de navegación), sino también los que se pudieran ocasionar en otras zonas próximas o remotas afectadas por la misma dinámica litoral.
- 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 previsible 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 tanto en fase de construcción como en fase de servicio, etc.
- La incidencia de otros condicionantes de planificación diferentes del estrictamente portuario, que pudieran afectar al emplazamiento concreto que se analice, y en particular los que se deriven del planeamiento urbano y costero.

En la práctica, 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 (por ejemplo la obtención de la mejor accesibilidad podría conllevar unos índices de agitación en el interior del puerto poco adecuados para la explotación portuaria que se considere).

El análisis de todos estos factores supera el alcance de esta ROM y será objeto de análisis detallado en otras Recomendaciones de este programa. La presente ROM 3.1 se limita exclusivamente al análisis de los aspectos relacionados con la navegación citados en el punto 2 de la relación anterior, tomando en consideración la incidencia que tengan en ella otros factores (clima marítimo, tipología de las infraestructuras que conformen la bocana, naturaleza de los terrenos, etc.).

### **8.5.2. CONDICIONES IMPUESTAS POR LA NAVEGABILIDAD**

La maniobrabilidad de los buques para el cruce de la bocana del puerto no puede considerarse como un hecho puntual limitado al cruce estricto del paso de la boca, debiendo realizarse, por el contrario, el análisis de un tramo completo de la vía de navegación que se extiende desde los puntos aguas arriba y aguas abajo en los que se inician y finalizan las maniobras de navegación para el cruce de la bocana.

El procedimiento general de análisis es el que se ha descrito en el apartado 8.4 anterior ya sea utilizando el método determinístico o el probabilístico, tomando en consideración los aspectos específicos siguientes:

- La navegación en el tramo afectado por la bocana se desarrollará a través de una vía con un trazado totalmente definido. Si bien la recomendación general es que este trazado sea recto, con frecuencia será necesario recurrir a trayectorias mixtas en las que a un tramo recto exterior al puerto seguirá una navegación en curva para buscar rápidamente aguas protegidas. Asimismo, será habitual que la navegación exterior al puerto pueda efectuarse por varias rutas alternativas, con el control de la navegación adecuado, lo que no invalida el supuesto de que debe existir uno (o varios) trazados totalmente definidos.
- Dado que las rutas de aproximación habituales están prefijadas y no pueden adecuarse a las características de vientos, oleajes o corrientes existentes en cada momento, habrá que prever acciones importantes de componente transversal y en consecuencia ángulos de deriva próximos a los valores máximos admisibles. Las condiciones del clima marítimo que se consideren límites de operación se determinarán en función del nivel de servicio que se desee obtener; a falta de estudios específicos se recomienda utilizar las siguientes condiciones climáticas transversales, que son las que se consideran normalmente para el dimensionamiento de estas zonas:
  - Velocidad absoluta del viento  $V_{10.1 \text{ min}}$   $\leq 10.00 \text{ m/s}$  (20 nudos)
  - Velocidad absoluta de la corriente  $V_{c.1 \text{ min}}$   $\leq 0.50 \text{ m/s}$  (1 nudo)
  - Altura de la Ola  $H_s$   $\leq 3.00 \text{ m}$
- En los puertos de refugio para embarcaciones menores (pesqueras y deportivas), así como en todos aquéllos que se diseñen para operar en condiciones climáticas severas, deberán establecerse rutas de navegación de acceso que permitan que el buque arribe a puerto empopado al temporal o formando un pequeño ángulo con aquél, lo que se denomina navegar con temporal a una cuarta o con temporal por la aleta, debiendo considerarse ángulos de hasta  $15/20^\circ$  entre la ruta y la dirección del oleaje.

Las condiciones climáticas longitudinales que se consideren límites para el análisis de estas rutas de entrada en temporales se establecerán mediante el análisis estadístico de los niveles de servicio que se quieran establecer, recomendándose que a falta de criterios específicos se consideren los límites de operación siguientes:

  - Velocidad absoluta del viento  $V_{10.1 \text{ min}}$   $\leq 16.00 \text{ m/s}$  (32 nudos)
  - Velocidad absoluta de la corriente  $V_{c.1 \text{ min}}$   $\leq 2.00 \text{ m/s}$  (4 nudos)
  - Altura de la Ola  $H_s$   $\leq 5.00 \text{ m}$
- La navegación en el tramo de cruce de la bocana del puerto generalmente corresponderá a condiciones climáticas variables y en consecuencia habrá que tomar en consideración los sobreanchos que se establecen para corregir este efecto. (ver apartado 8.4.) que se desarrollarán en las longitudes y con las transiciones que allí se recomiendan.
- Con bastante frecuencia y aunque no sea el trazado más favorable, el cruce de la bocana va seguido inmediatamente a continuación de una navegación en curva para buscar rápidamente aguas más abrigadas detrás de los diques de protección del puerto, por lo que también será frecuente prever los sobreanchos para la navegación en tramos curvos (ver apartado 8.4.), así como para desarrollar las transiciones que acompañan a tales tramos curvos.
- Para los puertos deportivos se tomarán en consideración, además, las recomendaciones siguientes:
  - El acceso marítimo al puerto ha de permitir incluso la navegación a vela, sea durante todo el año para los puertos base o de invernada, o durante la temporada para los puertos de escala.
  - Este acceso deberá permitir inscribir rutas de entrada y salida a vela, para cualquier viento posible dentro de las condiciones límites de operación, para barcos de 8 m de eslora, en el supuesto de capacidad de ceñida de  $45^\circ$ , recorrido de arrancada 40 m y deriva de 10 m en la virada. Estas rutas dejarán un resguardo mínimo de 15 m a las batimétricas críticas.

- La bocana de entrada estará por fuera de la línea de rotura de cualquier ola significativa con periodo de retorno de 5 años.

### **8.5.3. ANCHURA MINIMA DE LA BOCANA DEL PUERTO**

Con independencia de la anchura de la bocana del puerto que resulte del análisis de la vía de navegación en el tramo correspondiente, se recomienda que, en el caso de que la bocana esté configurada por los extremos avanzados de dos estructuras artificiales, la anchura nominal de la bocana del puerto medida a la profundidad requerida por el Buque de Proyecto en las condiciones operativas más desfavorables que se admitan, sea igual o superior a la eslora total ( $L$ ) del citado buque, para prevenir la posibilidad de que el barco quede encallado entre ambas márgenes, con riesgo de partirse al quedar apoyado en ambos extremos en mareas bajas.

### **8.5.4. BALIZAMIENTO DE LA BOCANA DEL PUERTO**

El balizamiento de la bocana del puerto, considerado como un tramo específico de la vía de navegación, se realizará de acuerdo con el Sistema de Balizamiento Marítimo, la Guía para su Aplicación y las Recomendaciones de la AISM.

En el caso de que se considere adecuado balizar los morros, los bajos, las batimétricas críticas de las escolleras u otras obras submarinas de las infraestructuras del puerto, se recurrirá a la utilización de marcas o balizas auxiliares en conformidad con la normativa vigente al respecto.

## **8.6. AREAS DE MANIOBRA**

### **8.6.1. CONCEPTO**

Dentro del concepto de áreas de maniobra, se engloban las zonas que tienen al menos una de las finalidades siguientes:

- Parar el buque.
- Revirar el buque.
- Dar arrancada al buque.

Cuando un barco se aproxima a un puerto o a una terminal, ya sea navegando desde el mar abierto o por una vía de navegación, debe hacerlo a una velocidad mínima suficiente para mantener la navegación controlada en función de las características del emplazamiento y de las condiciones climáticas existentes. Antes de que el buque efectúe las maniobras de atraque debe poder reducir su velocidad prácticamente a cero, necesitando un espacio suficiente para que esta parada del buque pueda desarrollarse en condiciones de seguridad. Por otra parte y simultánea o posteriormente a la operación anterior, es necesario en un gran número de casos que el buque cambie su orientación, girando en espacios reducidos para adecuarse a la alineación requerida por el muelle o atraque que vaya a ocupar.

El proceso es similar en las maniobras de salida, pudiendo requerirse reviro de buques y aceleración de su movimiento para alcanzar las condiciones necesarias de navegación para abandonar el puerto en condiciones de seguridad.

Los espacios necesarios para esta doble función de parada (o aceleración) y reviro del buque se engloban dentro del concepto de áreas de maniobra, ya que frecuentemente son operaciones interconectadas y que en ocasiones pueden desarrollarse en un mismo espacio.

### **8.6.2. FACTORES QUE AFECTAN A SU DIMENSIONAMIENTO**

El dimensionamiento de las áreas de maniobra depende fundamentalmente de los aspectos siguientes:

- El tamaño, dimensiones y características de los buques más desfavorables que se prevee recibir (que pudieran no ser los mayores, por lo que habitualmente se precisará analizar diversos tipos de buques).
- El volumen y naturaleza del tráfico, así como las velocidades admisibles de navegación con que los buques acceden a estas áreas.
- Las características geométricas de los espacios en los que deben desarrollarse estas maniobras.
- El clima marítimo existente en la zona y en particular las condiciones límites de operación que se establezcan para la realización de las maniobras.
- Los efectos de caída lateral de la popa que se producen en las fases finales de la maniobra y que son más acusados en los buques de formas llenas, a bajas velocidades, y más acentuados cuanto más elevada es la profundidad de agua y cuanto mayor es el régimen de máquina atrás utilizado en la maniobra.
- La disponibilidad de remolcadores y las características de los mismos para la realización de las diferentes operaciones asociadas a la maniobra.

En el análisis que se realiza en los apartados posteriores, se supone que no se efectúan maniobras de dos o más buques simultáneamente, por lo que las dimensiones que aquí se establecen están basadas en los espacios requeridos para un solo buque.

### **8.6.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA ZONA DE PARADA DEL BUQUE**

#### **8.6.3.1. DIMENSIONAMIENTO POR METODOS DETERMINISTICOS**

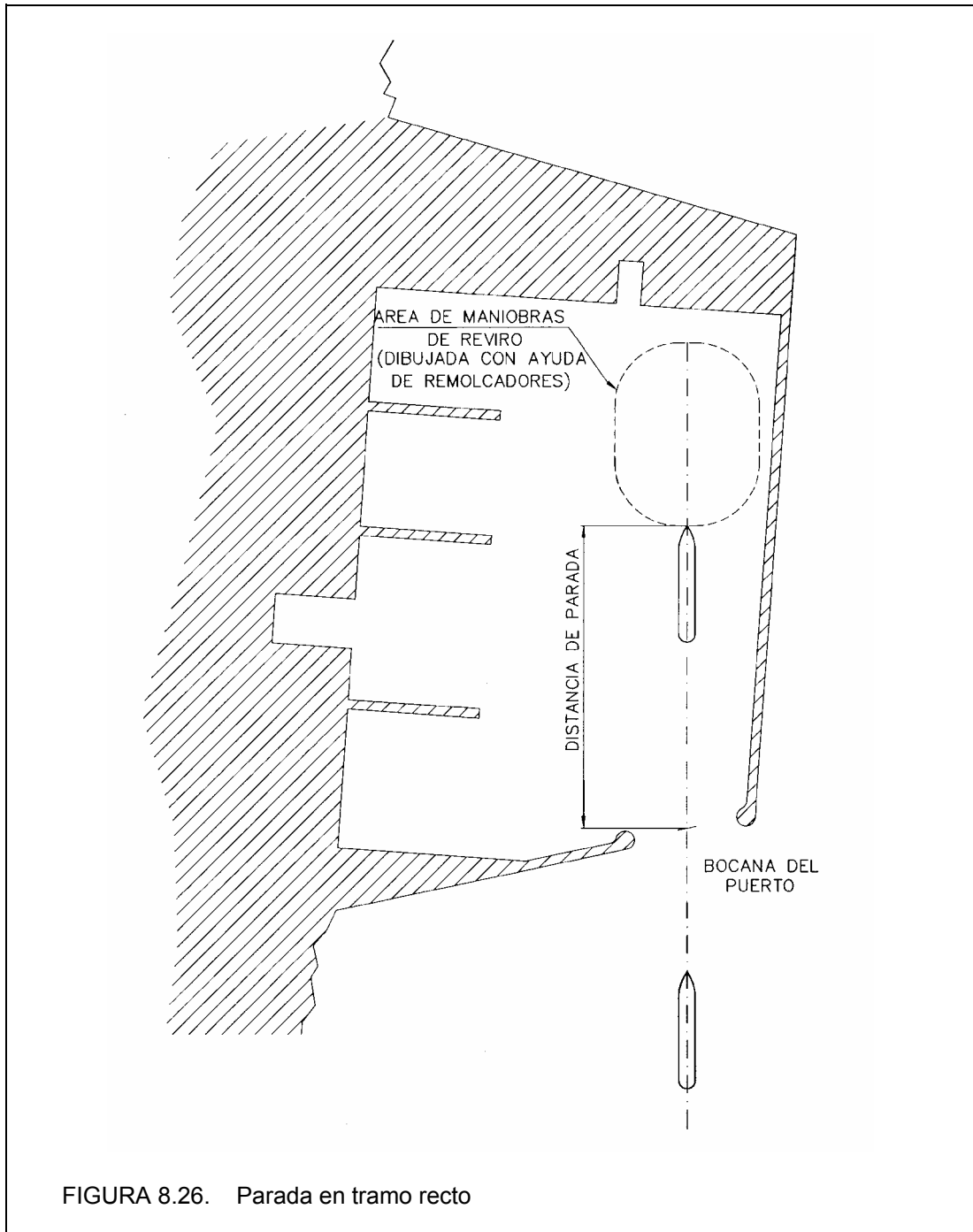
La determinación del espacio de parada de buque (longitud y anchura) se efectuará con los criterios expuestos en el apartado 6.3, suponiendo que los barcos se desplazan a las máximas velocidades de navegación admisibles en las vías de navegación o rutas de acceso. Sobre las distancias así calculadas por métodos determinísticos se aplicará un coeficiente de seguridad de 2, previéndose por tanto unas longitudes dobles de las calculadas teóricamente; para la determinación de anchuras se tomarán en consideración las recomendaciones específicas que se recogen en los subapartados siguientes de este artículo.

La configuración que se puede dar a este área de parada responde habitualmente a uno de los 3 esquemas siguientes, que pueden ser aplicados tanto a maniobras de parada en aguas protegidas o desabrigadas. En el caso de que la parada tenga que efectuarse fuera de aguas adecuadas para las maniobras de reviro y atraque se adoptarán además la prescripciones del apartado 8.6.3.3.

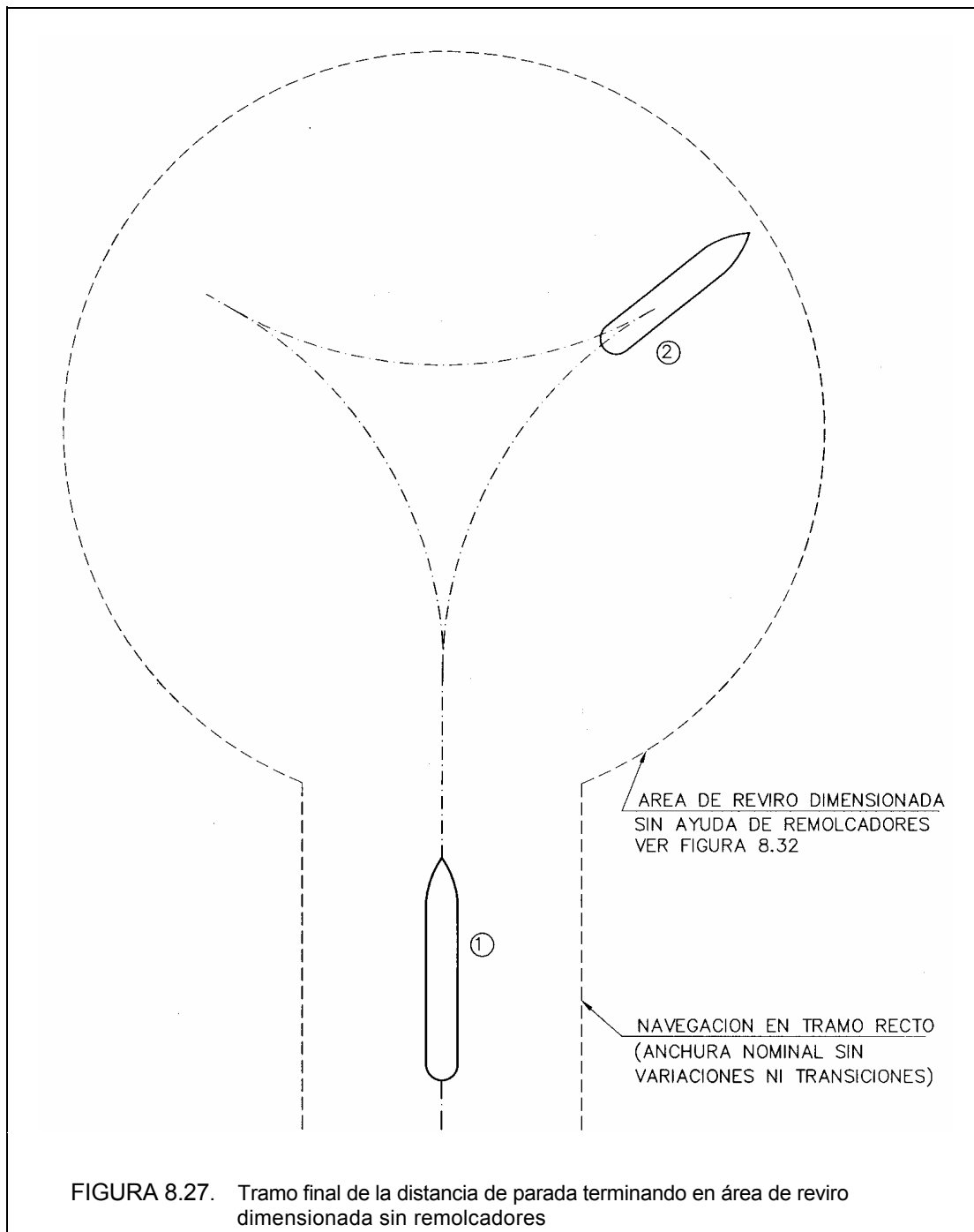
##### **a) PARADA EN TRAMOS RECTOS**

En este supuesto, que se esquematiza en la fig. 8.26 para el caso de una parada en el interior de un puerto, deberá preverse una alineación recta de longitud igual o mayor a la distancia de parada, mayorana con el coeficiente de seguridad 2 anteriormente indicado, y con una anchura nominal que se determinará suponiendo que se trata de una vía navegable con las condiciones climáticas compatibles con las que se hayan fijado como límites de operación para las zonas de donde provenga el buque, (para la determinación de anchuras se supondrá que el buque navega a la velocidad mínima prevista para esa vía de navegación); esta anchura nominal podrá mantenerse hasta una distancia de una eslora ( $L$ ) del punto final de la maniobra de parada, zona en la que empiezan a acusarse los efectos de caída lateral de popa asociados a la fase final de la maniobra, que influirán en la anchura del modo siguiente:

- En los casos en que la parada se efectúe sin remolcadores y la zona de parada termine en un Área de Reviro de buque dimensionada para operación sin remolcadores (ver fig. 8.27) las dimensiones del Área de Reviro cubren las caídas que pudieran presentarse al final de la maniobra, por lo que no se precisan sobrecanchos adicionales. En estos casos la caída final del buque podría facilitar incluso el inicio de la maniobra de reviro, dependiendo de las condiciones climáticas existentes y del tipo de buque.
- En los casos en que la parada se efectúe con remolcadores y la zona de parada termine en un Área de Reviro de buques dimensionada por operación con remolcadores, se adoptará la solución siguiente dependiendo del tipo de remolcadores disponibles (ver fig. 8.28):



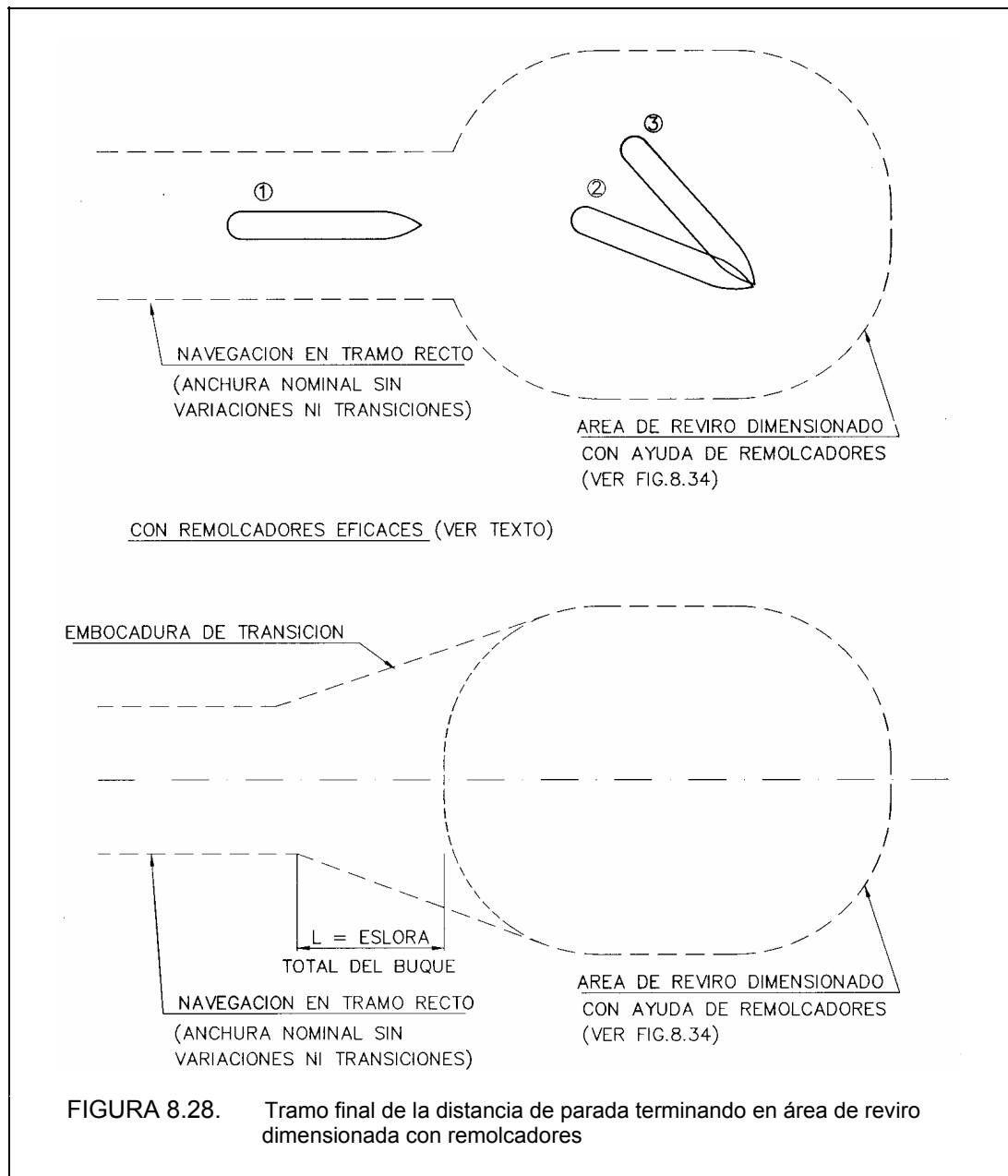
- Si los remolcadores disponibles son eficaces trabajando transversalmente sobre buques que se desplazan con una velocidad relativa al agua  $V_r = 1,5$  m/s, no se precisarán sobreanchos adicionales, si en las Normas de Operación de la zona se establece la obligatoriedad de utilización de tales remolcadores, según sean los requerimientos de los diferentes tipos de buques.
- Si los remolcadores no son eficaces en las condiciones anteriores se preverá una embocadura de transición entre el ancho normal de la vía navegable y el ancho del Area de Reviro, que arrancará en un punto situado en la vía navegable a una eslora (L) de distancia del Area de Reviro.
- En los casos en los que se prevea la parada de buques en cualquier punto de una vía navegable en donde pudiera ser que no existiese un Area de Reviro y que tenga sus



anchuras dimensionadas para las condiciones normales de navegación sin sobrecargas adicionales, deberá preverse el auxilio de remolcadores adecuados a los diferentes tipos de buque, para evitar las caídas excesivas que pudiesen presentarse en estas maniobras de parada. Estos requerimientos de remolcadores se incorporarán a las Normas de Operación del Área de Flotación correspondiente.

La longitud necesaria de parada se determinará habitualmente suponiendo que la maniobra se efectúa sin la colaboración de los remolcadores al freno (que si podrían intervenir en el control de los movimientos transversales) y por tanto exclusivamente con los elementos propios del buque. Excepcionalmente podrían calcularse distancias de parada más reducidas disponiendo de remolcadores que pudieran utilizar su potencia para ayudar a la frenada del buque; pero para poder tomar en cuenta esta posibilidad sería necesario disponer de remolcadores adecuados que pudieran navegar en paralelo con el buque, coger los cabos

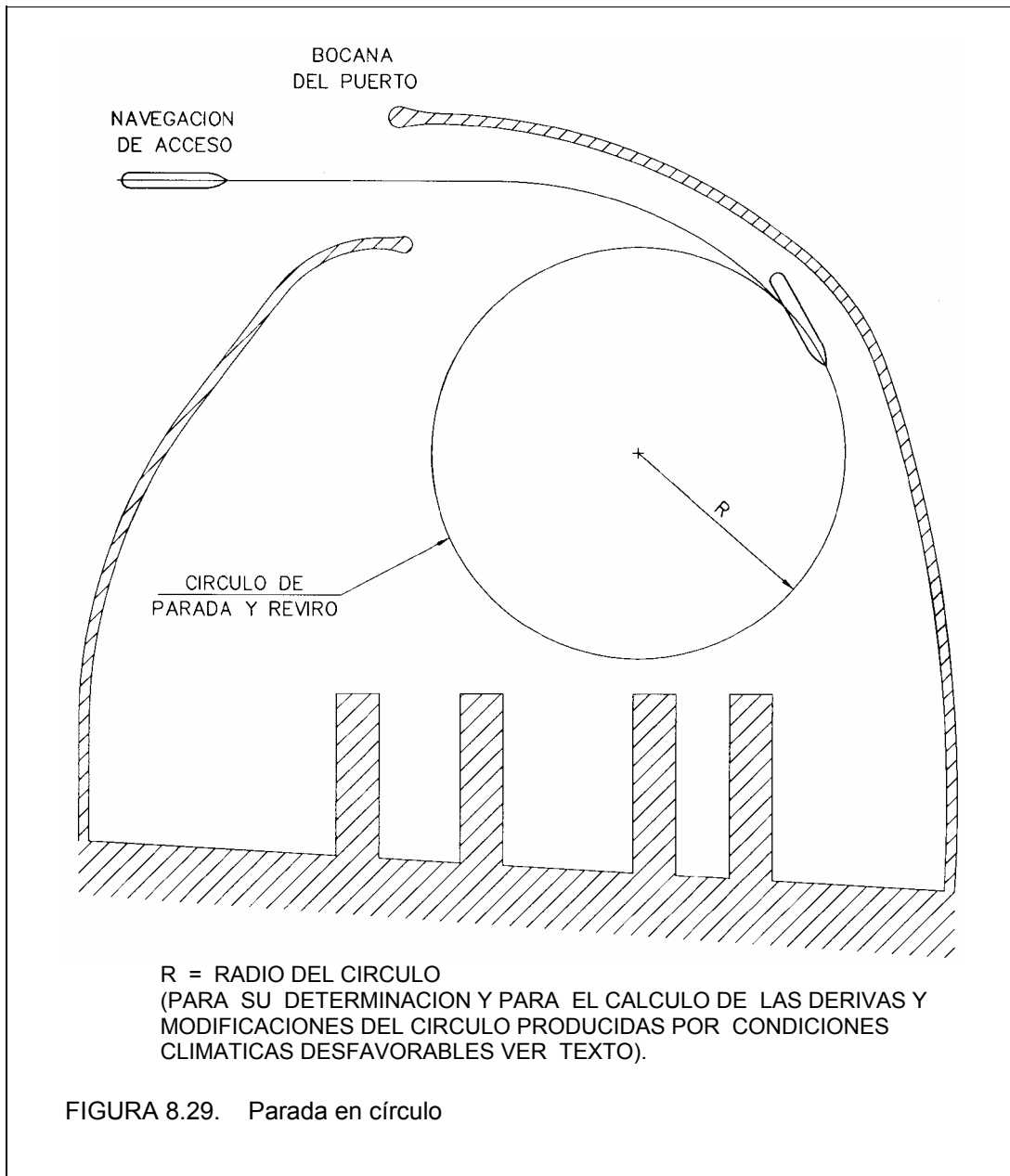




de las amarras e invertir el sentido del empuje manteniendo el rumbo de navegación (remolcadores del tipo Z-peller, Schottel, Voith Schneider, etc.); de seguirse este procedimiento deberá quedar recogido en las Normas de Operación del puerto la obligatoriedad de utilizar estos remolcadores en función del tipo de buque.

#### b) PARADA EN CIRCULO

En este supuesto que se esquematiza en la fig. 8.29, la parada del buque se efectúa a lo largo de un círculo que a su vez se utiliza para efectuar el revío de la embarcación. Para realizar esta doble función es preciso por tanto disponer de espacio suficiente para que pueda desarrollarse el círculo completo más desfavorable, incluyendo los efectos de la caída lateral de la popa que se producen en la fase final de la maniobra y que son más acusados e irregulares de los que se describieron para paradas en recta, razón por la que será conveniente prever diámetros del círculo holgados, para que el final de la maniobra pueda dirigirse hacia el interior del círculo, evitando mayores sobreespacios; estas circunstancias hacen que en general este tipo de soluciones sean poco recomendables debido al elevado costo que suele ser necesario para su desarrollo.



A falta de estudios de mayor detalle podrán utilizarse los valores siguientes de los diámetros del círculo:

- Operación de buques con una sola hélice

Profundidad de agua	Diámetro del círculo	
	Recomendado	Mínimo
$\geq 5.0 D$	$8 L_{pp}$	$6 L_{pp}$
$1,5 D$	$10 L_{pp}$	$7 L_{pp}$
$\leq 1,2 D$	$16 L_{pp}$	$10 L_{pp}$

siendo  $D$  el calado del buque y  $L_{pp}$  la Eslora entre perpendiculares.

- Operación de buques con dos hélices

Reducir las cifras anteriores en un 10% para los dos casos de profundidades de agua  $\geq 1,5 D$  y en un 20% para el caso de profundidades de agua  $\leq 1,2 D$ .

Los valores correspondientes a buque con dos hélices sólo podrán utilizarse para el proyecto cuando el Area de Flotación esté limitada al uso exclusivo de este tipo de buques.

Partiendo de estas dimensiones geométricas del círculo será necesario considerar los anchos y sobreanchos debidos a la navegación en curva con los criterios especificados en el apartado 8.4.3.2.

Las citadas dimensiones corresponden a condiciones de operación que no superen los valores siguientes:

- Velocidad absoluta del viento  $V_{10,1 \text{ min}}$   $\leq 10.00 \text{ m/s}$  (20 nudos)
- Velocidad absoluta de la corriente  $V_{c,1 \text{ min}}$   $\leq 0.50 \text{ m/s}$  (1 nudo)
- Altura de ola  $H_s$   $\leq 3.00 \text{ m}$

Se hace notar que aunque se trata de condiciones climáticas transversales, por la propia configuración de la curva y de la maniobra, cualquier dirección puede ser también transversal en algún momento de la maniobra, por lo que estas condiciones límites de operación pueden considerarse a efectos prácticos como no direccionales.

En el supuesto de que se prevea operar con condiciones climáticas más elevadas, será preciso considerar las modificaciones que la presencia de tales variables introducen en la curva evolutiva, sin que pueda contarse con la ayuda de remolcadores para compensar estas desviaciones, ya que esta maniobra está previsto que se desarrolle con la ayuda exclusiva de los elementos de control de la navegación del buque. Las derivas adicionales se podrán calcular con los criterios siguientes:

— Derivas producidas por la acción del viento

- El valor de la velocidad límite de deriva se determinará equilibrando los esfuerzos producidos por la acción del viento sobre el buque, en exceso sobre los correspondientes a la velocidad absoluta del viento de 10.00 m/s, con los generados por una corriente igual a la velocidad de deriva actuando como fuerza resistente sobre el casco del buque, siguiendo al respecto los criterios establecidos en el apartado 4.8.
- Se supondrá que esta velocidad límite de deriva actúa desde el primer momento, despreciando por tanto el período de aceleración hasta que esta velocidad uniforme se alcanza.
- El tiempo de actuación de esta velocidad de deriva se determinará suponiendo que el buque reduce linealmente su velocidad desde la máxima admisible al inicio de la maniobra hasta un valor «0» al final de la distancia de parada, calculada suponiendo navegación en tramos rectos. Se utilizará la distancia de parada, mayorada o no por el coeficiente de seguridad, según resulte más desfavorable.
- Se considerará que el viento puede actuar en cualquier dirección a no ser que se adopten limitaciones en las condiciones de operación que se establezcan. Se supondrá que la dirección de actuación del viento permanece constante durante toda la maniobra.

— Derivas producidas por la acción del oleaje

- Se determinarán siguiendo el mismo procedimiento establecido para calcular las derivas ocasionadas por la acción del viento, si bien el cálculo de la velocidad límite de deriva se determinará equilibrando los esfuerzos producidos por la acción del oleaje sobre el buque en exceso sobre los correspondientes a la altura de ola de 3,00 m, con los generados por una corriente igual a la velocidad de deriva actuando como fuerza resistente sobre el casco del buque.
- Se considerará que el oleaje puede actuar en todas las direcciones compatibles con la geometría y condiciones de protección de la zona analizada, tomando en cuenta los factores correspondientes de transformación del oleaje. Se supondrá que la dirección de actuación del oleaje permanece constante durante toda la maniobra.

— Derivas producidas por la acción de la corriente

- Se determinarán con el mismo procedimiento anterior suponiendo que la velocidad límite de deriva coincide con el exceso de velocidad de la corriente sobre el valor absoluto de 0,50 m/s.
- Se considerará que la corriente puede actuar en cualquier dirección con valores compatibles con la configuración del área analizada. Se supondrá que la dirección de actuación de la corriente permanece constante durante toda la maniobra.

c) PARADA EN TRAYECTORIAS MIXTAS

En este supuesto que se esquematiza en la fig. 8.30 la parada del buque se efectúa en trayectorias mixtilíneas formadas por combinación de tramos rectos y curvos, siguiendo generalmente la geometría impuesta por el espacio físico disponible, sin que llegue a disponerse de espacio suficiente para efectuar una parada en recta y un reviro posterior, o una maniobra completa de parada y reviro en círculo, por lo que estas trayectorias necesitarán habitualmente disponer de un área de reviro posterior a la distancia de parada para efectuar las maniobras de aproximación, atraque y salida de los buques de los muelles.

La determinación de los espacios requeridos para esta maniobra se efectuará con los criterios expuestos en el apartado a), aplicándoles a los tramos rectos de la trayectoria, y con los criterios expuestos en el apartado b) conjuntamente con los aplicables a la navegación en tramos curvos, para los tramos que tengan esta característica a lo largo de la trayectoria, estableciéndose las oportunas transiciones entre unos y otros tramos. La longitud total del tramo, necesaria para la parada del buque, medida a lo largo del eje, será como mínimo igual a la requerida para navegación en tramos rectos.

En el supuesto de que los espacios geométricos disponibles no permitan implantar configuraciones a las que sean aplicables los criterios del párrafo anterior, deberá recurrirse

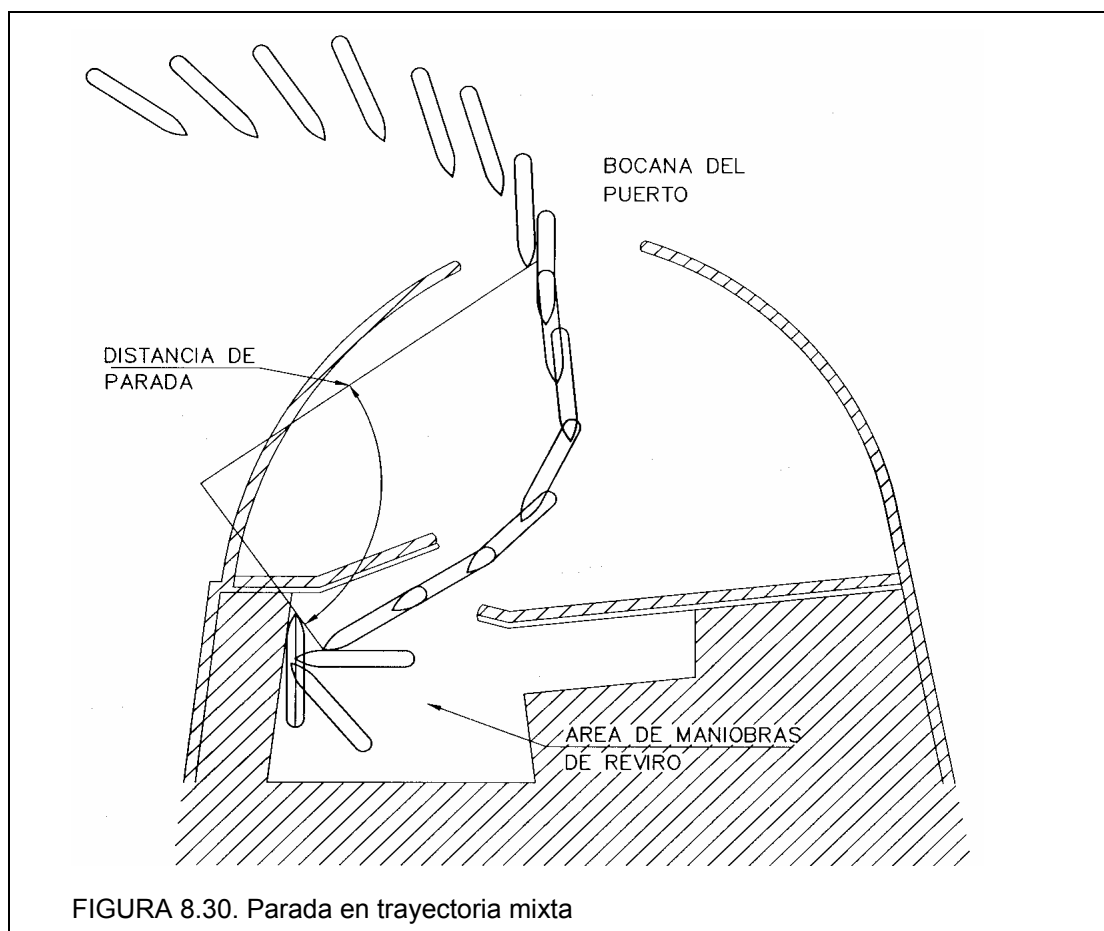


FIGURA 8.30. Parada en trayectoria mixta

al estudio completo de las maniobras en simulador, analizando especialmente la fase final de las mismas dada la importancia y heterogeneidad de las caídas de la popa del buque que se producen en las etapas finales de la parada en curva.

Para minimizar estos problemas se recomienda con carácter general que la maniobra de parada se termine sobre tramos rectos y no sobre tramos curvos, utilizando estos tramos curvos sólo para las maniobras de frenado sin que el buque llegue a navegar por ellos a velocidades que no permitan mantener su control en las Condiciones Límites de Operación que se consideren.

### **8.6.3.2. DIMENSIONAMIENTO POR METODOS PROBABILISTICOS**

En este procedimiento el dimensionamiento geométrico de los espacios para la parada de buques se basa fundamentalmente en el análisis estadístico de la ocupación de superficies por los barcos en las diferentes maniobras que se consideren, lo que permitirá, en el caso de disponer de un número suficiente de repeticiones de las maniobras, asociar el dimensionamiento resultante al riesgo previamente establecido en cada caso.

La aplicación práctica de este método podrá realizarse en base a estudios con simulador, ensayos a escala reducida, mediciones en tiempo real o procedimientos similares, que pueden reproducir el problema planteado con mayor o menor precisión. En la Parte 9 de esta ROM se recogen los aspectos principales de los Modelos de Simulación, que son la herramienta más frecuentemente utilizada para este tipo de estudios.

Previamente a la utilización de este método deberá conocerse con precisión las características del sistema utilizado y sus limitaciones, determinando qué aspectos de la realidad no son reproducibles con el modelo utilizado (p.e. balizamiento y las imprecisiones asociadas a él), puesto que todas aquellas condiciones que no puedan modelizarse deberán ser considerados por otros procedimientos. El esquema seguido en esta ROM es que en todos estos aspectos que los modelos de simulación no consideren, se utilizará para su valoración los mismos criterios que se han definido para el método determinístico; en particular los Márgenes de Seguridad ( $rh_{sd}$ ) se valorarán exactamente igual en ambos métodos.

El análisis efectuado con estos procedimientos estudia normalmente diferentes maniobras de parada del buque en las que se considera como una de las variables el régimen de máquinas que se vaya a utilizar en el procedimiento de parada, además de otros factores que afectan al dimensionamiento de estas superficies (tipo de buques, clima marítimo, disponibilidad de remolcadores, etc.).

El procedimiento general de dimensionamiento comprenderá las fases siguientes:

- 1.º Conocer el modelo a utilizar y las limitaciones del mismo, especialmente aquellos aspectos que no puedan reproducirse en el estudio y que deberán ser abordados por procedimientos determinísticos.
- 2.º Conocer las características del Area de Maniobras y de su entorno (definición geométrica de la traza, batimetría y niveles de agua, clima marítimo existente en la zona, etc.). El nivel de definición requerido a este respecto puede variar significativamente según el sistema de simulación utilizado.
- 3.º Definir los sistemas de señalización y balizamiento que se pueden instalar, así como la forma en que se incorporan al simulador.
- 4.º Definir las condiciones climáticas límites de operación según el tipo y las dimensiones de los buques, los remolcadores disponibles o cualquier otra condición particular que se pueda definir en cada caso.
- 5.º Definir los remolcadores disponibles y su intervención en las maniobras en función del tipo y dimensiones de los buques, condiciones climáticas existentes o cualquier otra condición que se establezca.
- 6.º Concretar los «escenarios» que se van a reproducir en el simulador. Se entiende por «escenario» el conjunto de condiciones que definen una maniobra (que se repetirá varias veces para darle un tratamiento estadístico), comprendiendo al menos los aspectos siguientes:
  - El tipo de buque representativo del tramo de flota que quiera estudiarse.
  - El régimen de máquinas que se utilizará en la maniobra de parada.

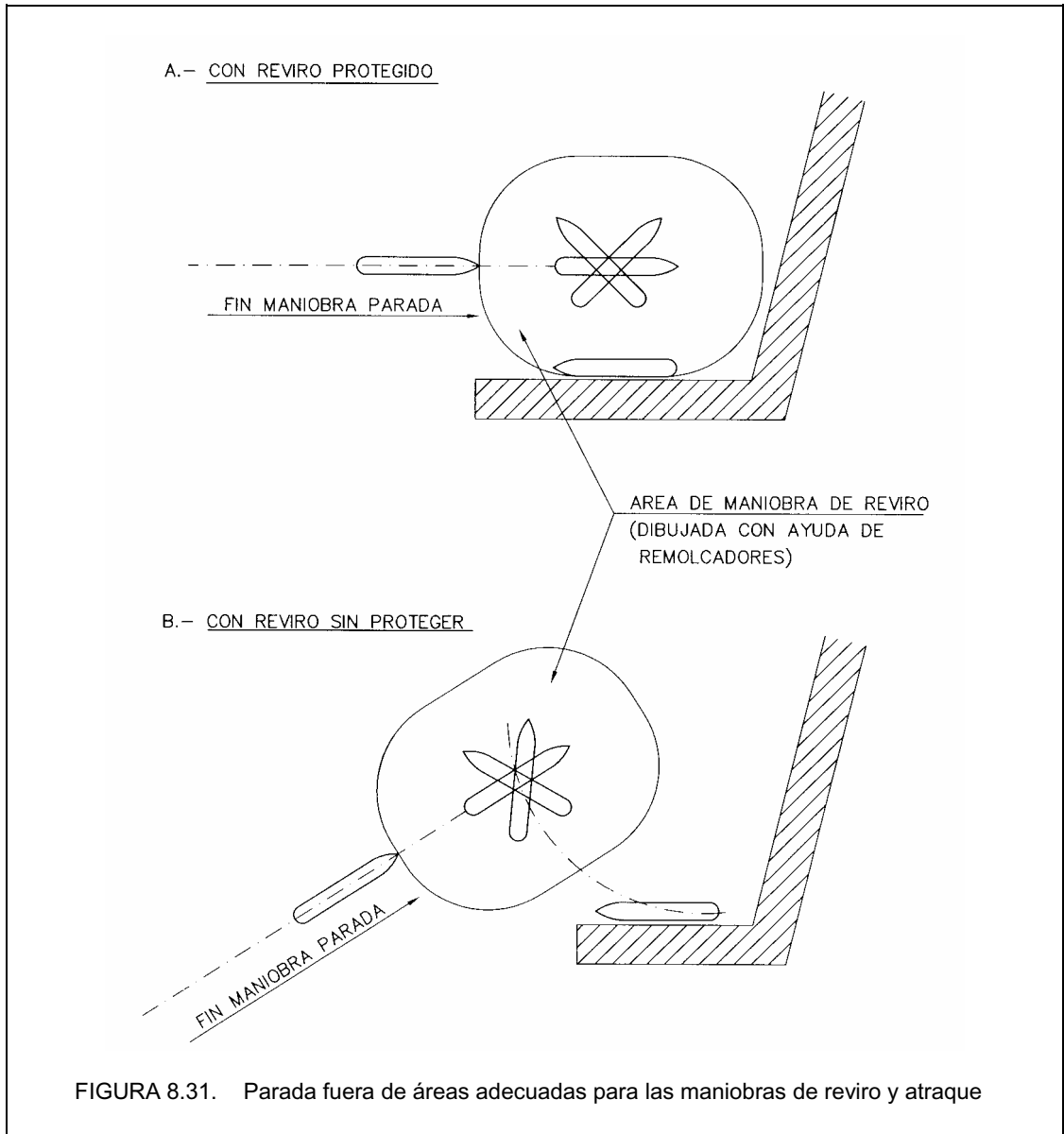
- Las condiciones climáticas límites de operación representativas del intervalo que se vaya a analizar.
  - Los remolcadores y otras ayudas a la navegación que estarán disponibles en esta operación.
- 7.º Definir el número de pasadas que se van a efectuar en el simulador repitiendo la maniobra correspondiente a un mismo escenario. En la medida que se disponga de un mayor número de pasadas aumentará la precisión del estudio, con la contrapartida de incrementar los costos de la simulación. Se recomienda utilizar un número de pasadas comprendido entre 12 y 15 para la realización de proyectos definitivos.
  - 8.º Concretar las secciones transversales del Área de Maniobras en las que se va a efectuar la evaluación de espacios ocupados por el buque (pueden analizarse las secciones críticas, todas las secciones transversales a una separación geométrica o temporal predeterminada e incluso puede obtenerse un registro continuo de todas las sendas ocupadas por el buque en cada una de las trayectorias que es el procedimiento que se recomienda para el tramo final de las maniobras en donde pueden presentarse las mayores caídas de los buques).
  - 9.º Analizar estadísticamente los resultados obtenidos en el simulador, atendiendo a la finalidad del estudio. Si el objetivo es sólo determinar la superficie del Área de Maniobras el interés estará únicamente en los valores límites de la ocupación de espacios; si además se quiere optimizar la traza de la vía será necesario analizar las desviaciones del centro de gravedad del buque en relación con la traza prefijada de referencia. En todos los casos el proceso será determinar las funciones de densidad y las de excedencia, ajustando diferentes funciones de distribución (Normal, Gumbel, Weibull, etc.), para cada una de las secciones transversales de estudio, determinando sus coeficientes de correlación y seleccionando las funciones de mejor ajuste, que en general serán las de tipo simétrico para el estudio de la posición del centro de gravedad y las de tipo asimétrico cuando se analice la ocupación de espacios en cualquiera de las dos bandas.
  - 10.º Seleccionar las funciones de distribución (preferentemente un mismo tipo para las bandas y otro para el centro de gravedad, si es preciso). Para optimizar el eje de la traza se utilizarán en cada sección los valores medios de la función de densidad de la desviación del centro de gravedad. Para analizar la anchura del Área de Maniobras, se utilizarán las funciones de probabilidad de excedencia, determinándose además las bandas de confianza más desfavorables (las que produzcan mayor ocupación) correspondientes al 95%; sobre estas bandas de confianza se calculará la probabilidad de excedencia ( $p_{ij}$ ) de que esa Área de Navegación sea sobrepasada en esa sección por un buque del tipo ( $i$ ) en las condiciones de operatividad del intervalo ( $j$ ) —escenario analizado— entrando así con el procedimiento descrito en el apartado 2.5 y particularmente en el subapartado 2.5.6.

La anchura nominal de cada sección estudiada del Área de Maniobras determinada por este método semiprobabilístico será:

$$B_n = [\text{Anchura entre bandas calculada estadísticamente en función del riesgo «E» prefijado}] + [\text{sobreanchos debidos a efectos no contemplados en el simulador, que se calcularán con los criterios establecidos por el método determinístico}] + +[\text{Margen de Seguridad «}rh_{sd}\text{» valorado con los criterios establecidos por el método determinístico}]$$

### 8.6.3.3. PARADA FUERA DE AGUAS PROTEGIDAS

En el supuesto de que la configuración del puerto o del emplazamiento no permita que la maniobra de parada del buque desde su inicio hasta su terminación se efectúe de una forma controlada finalizando en aguas adecuadas para las maniobras de reviro y atraque (entendiendo por tales las que permitiesen la posterior navegación controlada del buque a baja velocidad hacia los muelles o atraques, ya sea con sus propios medios o con ayuda de remolcadores), deberá estudiarse y situarse la maniobra de parada del buque en zonas exteriores al puerto o emplazamiento que se considere, de manera que el barco pueda quedar parado antes de entrar en el espacio reducido del puerto o del emplazamiento, precediéndose a efectuar esta maniobra final de reviro o de aproximación a los muelles con auxilio de remolcadores. Ver fig. 8.31. En este caso deberá tomarse en consideración que las condiciones climáticas límites de operación de este tipo de emplazamientos, pueden venir ocasionadas, de ser más desfavorables, por las limitaciones de las embarcaciones auxiliares de que se disponga para permitir el acceso del práctico al buque, así



como por los propios remolcadores que deberán salir fuera de las aguas protegidas para recoger al buque y desplazarlo hacia los muelles. Estas condiciones climáticas límites de operación pueden establecerse, a reserva de estudios de mayor precisión adecuados a las características particulares del caso, en los valores siguientes:

- Velocidad absoluta del viento  $V_{10.1 \text{ min}} \leq 10.00 \text{ m/s}$  (20 nudos)
- Velocidad absoluta de la corriente  $V_{c.1 \text{ min}} \leq 1.00 \text{ m/s}$  (2 nudos)
- Altura de ola  $H_s \leq 2,00 \text{ m}$

estas condiciones se consideran como no direccionales dada las características de la maniobra.

#### 8.6.4. DIMENSIONAMIENTO DE LAS ZONAS DE MANIOBRAS DE REIRO

##### 8.6.4.1. DIMENSIONAMIENTO POR METODOS DETERMINISTICOS

Las dimensiones de las áreas de maniobra de reiro de buques, calculados por métodos determinísticos, se establecerán de acuerdo con los criterios siguientes, según se efectúen con auxilio o no de remolcadores.

a) MANIOBRAS SIN AYUDA DE REMOLCADORES

El área de maniobra de reviro, o espacio que necesita el buque para virar en redondo invirtiendo su sentido de marcha, en el supuesto de que se efectúe sin auxilio de remolcadores, es un círculo de radio « $R_{sr}$ », cuyo valor se determinará con los criterios siguientes, según que se efectúe con fondeo o sin fondeo de ancla.

— Sin fondeo de ancla (ver fig. 8.32)

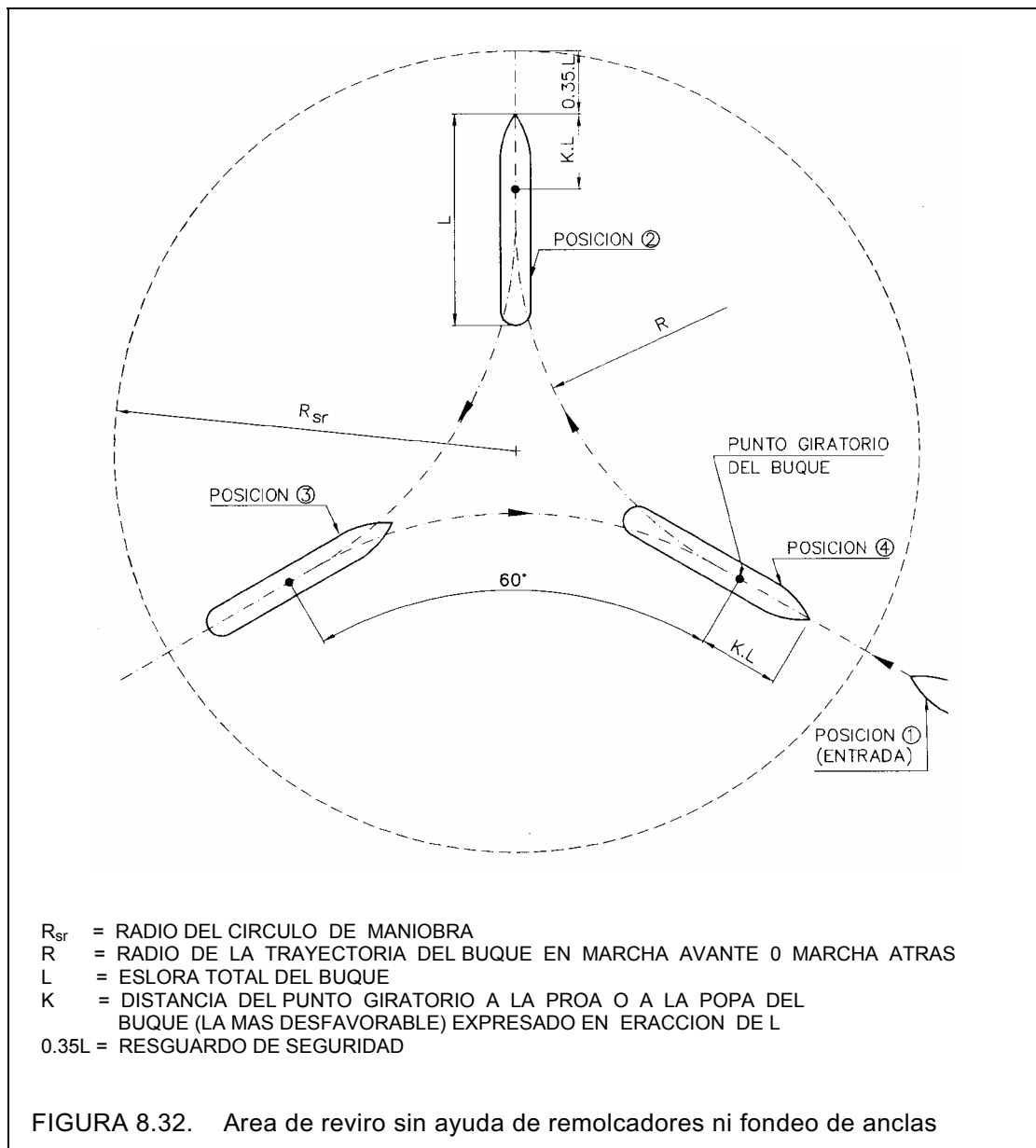
$$R_{sr} = R \cdot \operatorname{tg} 30^\circ + K \cdot L + 0,35 \cdot L$$

siendo:

$R_{sr}$  = Radio del círculo de maniobra, para operación sin remolcadores.

$L$  = Eslora total del buque.

$R$  = Radio mínimo de la trayectoria del buque en marcha avante 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
$\geq 5.0 D$	$3,0 L_{pp}$
$1,5 D$	$3,5 L_{pp}$
$\leq 1.2 D$	$5,0 L_{pp}$

siendo  $D$  el calado del buque y  $L_{pp}$  la eslora entre perpendiculares.

Estas dimensiones corresponden a condiciones de operación que no superen los valores siguientes:

- Velocidad absoluta del viento  $V_{10,1 \text{ min}}$   $\leq 10,00 \text{ m/s}$  (20 nudos)
- Velocidad absoluta de la corriente  $V_{c,1 \text{ min}}$   $\leq 0,50 \text{ m/s}$  (1 nudo)
- Altura de ola  $H_s$   $\leq 3,00 \text{ m}$

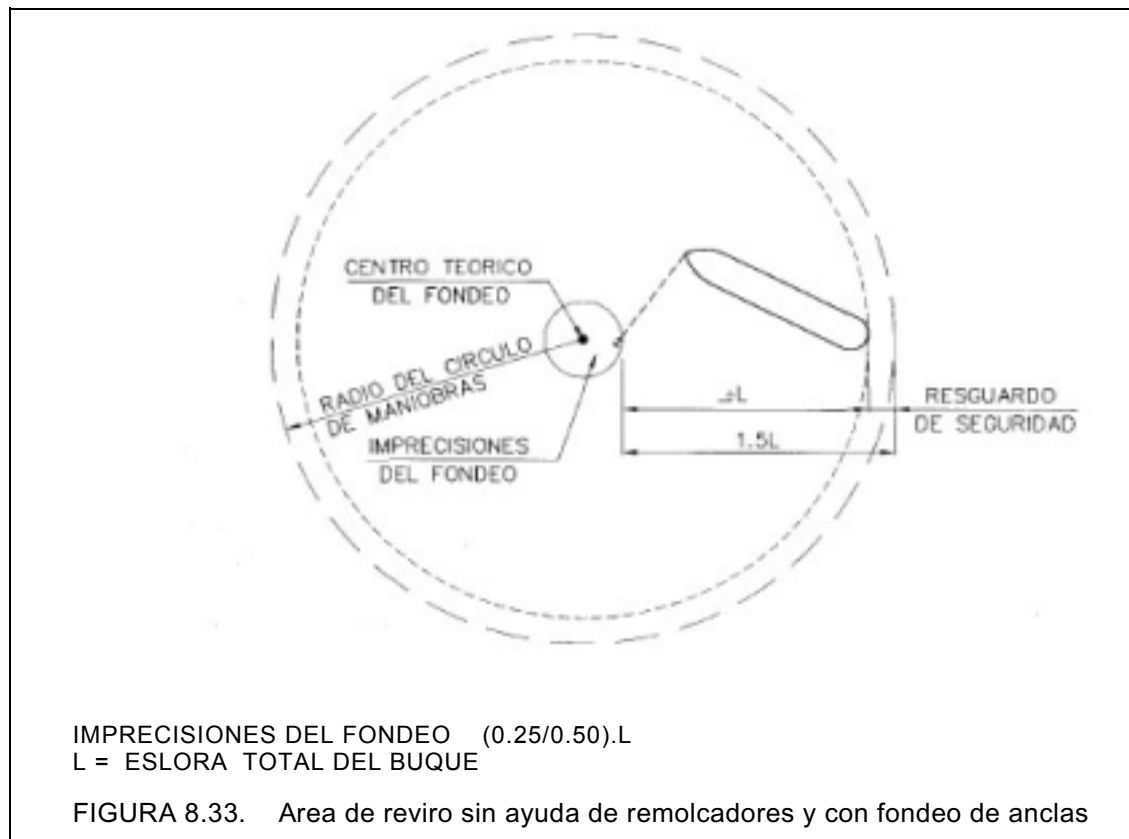
En el supuesto de que se precise operar en condiciones meteorológicas más elevadas, será preciso tomar en consideración las modificaciones que se producen en estos radios de giro del buque siguiendo los criterios expuestos en el apartado 8.6.3.1.b.

$K$  = 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 los buques de mayores desplazamientos con formas de carena llenas (petroleros, graneleros, etc.) que suelen ser críticos para el dimensionamiento de las Areas de Maniobras,  $K$  toma el valor 0,5 si la relación entre la profundidad de agua en reposo ( $h$ ) y el calado del buque ( $D$ ) es  $h/D \leq 1,20$ ; mientras que si esta relación  $h/D \geq 1,50$  el valor de  $K= 2/3$ . Para embarcaciones rápidas (buques con forma de carena finas) y embarcaciones deportivas el valor de  $K= 1.0$ .

0,35 = Coeficiente que cuantifica el resguardo o Margen de Seguridad ( $rh_{sd}$ ) en función de la eslora del buque ( $L$ ) y que está determinado suponiendo que la velocidad longitudinal del buque en el centro del círculo de maniobras no supera los 0,20 m/s.

— Con fondeo de ancla (ver fig. 8.33)



Si el buque lleva a cabo la maniobra utilizando el ancla, ha de fondear la del costado en cuyo sentido se efectúe el giro y dar máquina avante describiendo un círculo cuyo centro es el ancla y cuyo radio se aproxima, según confirma la experiencia, a la eslora ( $L$ ) del buque, adoptándose habitualmente un radio del área de maniobra de  $1,5 L$ , que toma en consideración este efecto y un resguardo adicional en popa del buque o Margen de Seguridad ( $rh_{sd}$ ) cifrado en  $0,20 L$ .

Sobre el valor así determinado habría que considerar las imprecisiones que se podrían producir en el punto de fondeo del buque derivadas de la inexactitud del método empleado para situar la posición del buque y las producidas por la demora entre el momento en que se da la orden de fondeo y el instante en que el ancla termina por hacer cabeza en el fondo, influyendo también la bondad cartográfica y el grado de adiestramiento del equipo de Puesto de la unidad considerada. Todos estos factores pueden evaluarse entre el 25% y el 50% de la eslora « $L$ » del buque considerado, supuesto que accede al centro del círculo de maniobra con una velocidad longitudinal no mayor de  $0,20$  m/s y que las condiciones límites de operación no superan los valores siguientes:

- Velocidad absoluta del viento  $V_{10,1 \text{ min}} \leq 10,00$  m/s (15 nudos)
- Velocidad absoluta de la corriente  $V_{0,1 \text{ min}} \leq 0,50$  m/s (1 nudo)
- Altura de ola  $H_s \leq 2,00$  m

#### b) MANIOBRAS CON AYUDAS DE REMOLCADORES

En el supuesto de que las maniobras de reviro del buque se efectúen con ayuda de remolcadores, las dimensiones resultantes del área de maniobras se esquematizan en la fig. 8.34, en donde se define una superficie a partir de un rectángulo central de anchura « $2B_G$ » y longitud « $2L_G$ » que es donde puede quedar situado el centro de gravedad del buque cuando accede al área de maniobras con una velocidad longitudinal no mayor de  $0,20$  m/s en el centro del rectángulo. Las dimensiones que figuran en el esquema son las siguientes:

$$\begin{aligned} B_G &\geq 0,10 L \\ L_G &\geq 0,35 L \\ R_{cr} &\geq 0,80 L \end{aligned}$$

siendo « $L$ » la eslora total del buque

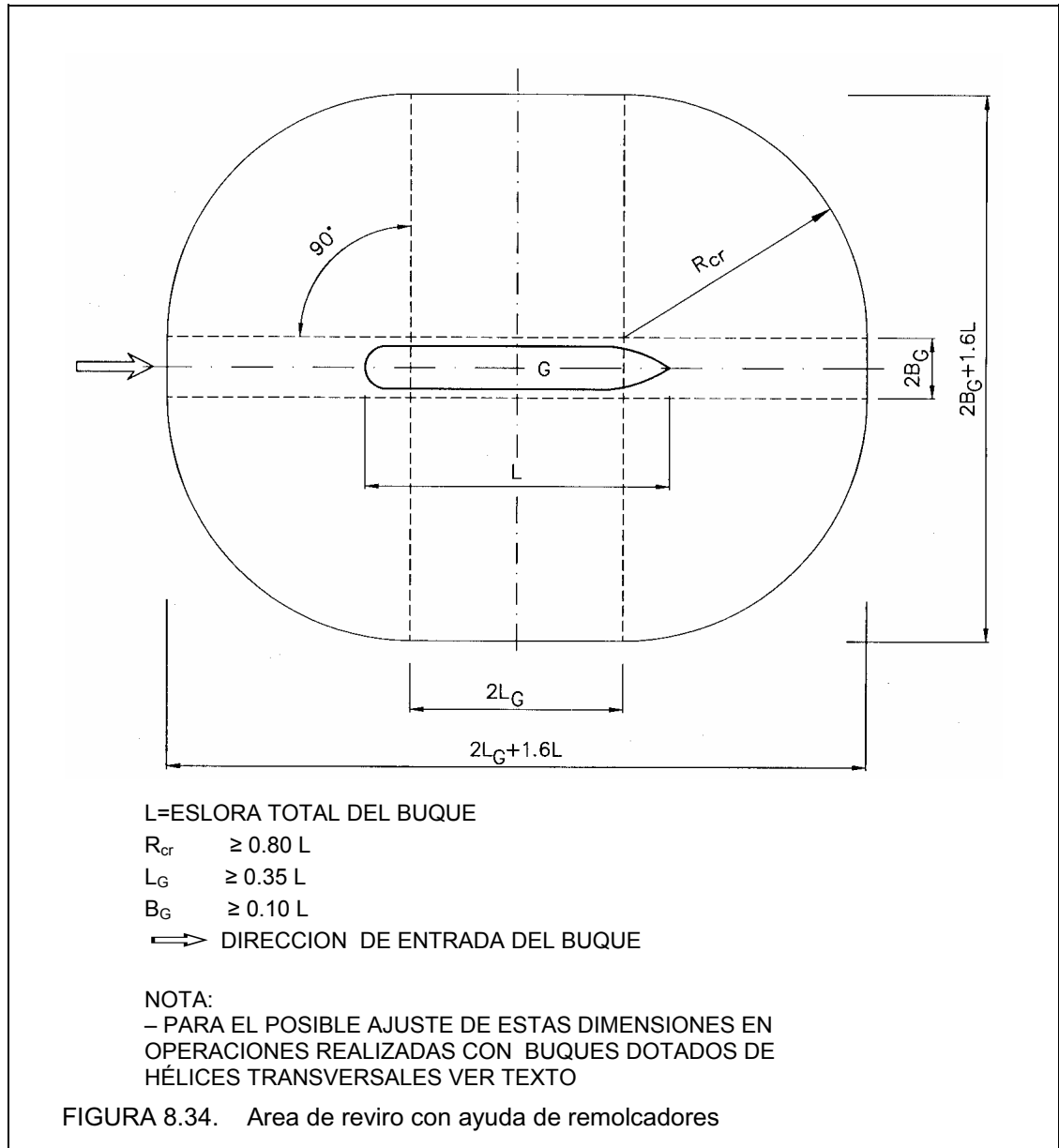
Estas dimensiones mínimas del Área de Maniobras, conllevan un Margen de Seguridad ( $rh_{sd}$ ) en todo el perímetro de valor  $0,10 \cdot L$  y están determinadas en el supuesto de que las condiciones límite de operación no superen los valores siguientes:

- Velocidad absoluta del viento  $V_{10,1 \text{ min}} \leq 10,00$  m/s (20 nudos)
- Velocidad absoluta de la corriente  $V_{c,1 \text{ min}} \leq 0,10$  m/s (0.2 nudos)
- Altura de ola  $H_s \leq 1,50/2,00$  m según tipo de remolcadores disponibles

La potencia necesaria de los remolcadores para que se puedan adoptar los valores mínimos del área de maniobras se calcularán según los criterios expuestos en el apartado 5.7 aplicados a los valores límites de las condiciones climáticas indicados (si son compatibles con la configuración y características del emplazamiento) suponiendo que las acciones resultantes actúan simultáneamente. En el caso de que no se disponga de remolcadores en la cuantía requerida podrán mantenerse las dimensiones del esquema recomendado, adoptando unas Condiciones Límites de Operación inferiores, que sean compatibles con la potencia de remolque disponible manteniendo los coeficientes de seguridad establecidos en el citado apartado 5.7.

Si se desea establecer unos Límites de Operación más elevados, pueden seguirse dos procedimientos:

- Aumentar la potencia de los remolcadores, que deberán dimensionarse para los Límites de Operación que se consideren en ese caso, en cuyo caso se mantendrían las dimensiones mínimas del área de maniobras definidas en la figura 8.34.
- Aumentar las dimensiones mínimas del área de maniobras, sin aumento de la potencia de remolque, considerando el incremento de la deriva debida a los esfuerzos des-



compensados producidos por las mayores acciones debidos a los vientos, oleajes y corrientes. El cálculo de estas derivas se efectuará con los criterios siguientes, suponiendo que un reviro de 180° se efectúa con velocidad angular uniforme en un tiempo de 30 minutos.

— Derivas producidas por el viento:

- El valor de la velocidad límite de deriva se determinará equilibrando los esfuerzos producidos por la acción del viento sobre el buque, en exceso sobre los correspondientes a una velocidad absoluta del viento de 10.00 m/s, con los generados por una corriente igual a la velocidad de deriva actuando como fuerza resistente sobre el casco del buque, siguiendo al respecto los criterios establecidos en el apartado 4.7.
- Se supondrá que esta velocidad límite de deriva actúa desde el primer momento, despreciando por tanto el periodo de aceleración hasta que esta velocidad uniforme se alcanza.
- Se considera que el viento puede actuar en cualquier dirección a no ser que se adopten limitaciones en las condiciones de operación que se establezcan. Se supondrá que la dirección de actuación del viento permanece constante durante toda la maniobra de reviro.

- Derivas producidas por el oleaje:
  - Se determinarán siguiendo el mismo procedimiento establecido para calcular las derivas ocasionadas por la acción del viento, si bien el cálculo de la velocidad límite de deriva se determinará equilibrando los esfuerzos producidos por la acción del oleaje sobre el buque, en exceso sobre las correspondientes a la altura de ola de 1.50/2.00 m, con los generados por una corriente igual a la velocidad de deriva, actuando como fuerza resistente sobre el casco del buque.
  - Se considerará que el oleaje puede actuar en todas las direcciones compatibles con la geometría y condiciones de protección de la zona analizada tomando en cuenta los factores correspondientes de transformación del oleaje. Se supondrá que la dirección de actuación del oleaje permanece constante durante toda la maniobra de reviro.
- Derivas producidas por la corriente:
  - Se determinarán con el mismo procedimiento anterior supuesto que la velocidad límite de deriva coincide con el exceso de velocidad de la corriente sobre el valor absoluto de 0.10 m/sg.
  - Se supondrá que la corriente puede actuar en cualquier dirección con valores compatibles con la configuración del área analizada, considerando que la dirección de actuación de la corriente permanece constante durante toda la maniobra de reviro.

Este recurso de aumentar las dimensiones del área de maniobra sin aumento de la potencia de remolque, no podrá adoptarse en la dirección transversal aconchante al muelle al que se vaya atracar, a no ser que este muelle se dimensione para una energía de atraque correspondiente a operación sin ayuda de remolcadores; sin embargo es un procedimiento habitualmente utilizado en el caso de rías, canales o estuarios con corrientes longitudinales importantes y transversales muy reducidas, en la que pueden aceptarse áreas de maniobra más alargadas en direcciones paralelas a los muelles, sin especiales dificultades y sin necesidad de incrementar innecesariamente la potencia de los remolcadores.

En el supuesto de que la maniobra se realice con buques dotados de hélices transversales que realicen integralmente las funciones de los remolcadores, podrán reducirse las dimensiones de este Área de Reviro adoptando un valor de  $R_{cr} \geq 0.70 L$ , que toma en consideración la reducción de espacios que se produce al no tener remolcadores implicados en la maniobra dentro del Área de Reviro. Esta reducción no podrá ser aplicada en el supuesto de que las hélices transversales sólo puedan ayudar parcialmente a la maniobra y el buque necesite ser complementado con remolcadores cuando se trabaje en Condiciones Límites de Operación, supuesto que será el más habitual si las hélices transversales están dimensionadas con los criterios recogidos en el apartado 3.6.

#### **8.6.4.2. DIMENSIONAMIENTO POR METODOS SEMIPROBABILISTICOS**

En este procedimiento el dimensionamiento geométrico de los espacios para el reviro de los buques se basa fundamentalmente en el análisis estadístico de la ocupación de superficies por los barcos en las diferentes maniobras que se consideren, lo que permitirá, en el caso de disponer de un número suficiente de repeticiones de las maniobras, asociar el dimensionamiento resultante al riesgo previamente establecido en cada caso.

La aplicación práctica de este método podrá realizarse en base a estudios con simulador, ensayos a escala reducida, mediciones en tiempo real o procedimientos similares, que pueden reproducir el problema planteado con mayor o menor precisión. En la Parte 9 de esta ROM se recogen los aspectos principales de los Modelos de Simulación, que son la herramienta más frecuentemente utilizada para este tipo de estudios.

Previamente a la utilización de este método deberá conocerse con precisión las características del sistema utilizado y sus limitaciones, determinando qué aspectos de la realidad no son reproducibles con el modelo utilizado (p.e. balizamiento y las imprecisiones asociadas a él), puesto que todas aquellas condiciones que no puedan modelizarse deberán ser consideradas por otros procedimientos. El esquema seguido en esta ROM es que en todos estos aspectos que los modelos de simulación no consideren, se utilizará para su valoración los mismos criterios que se han definido para el método determinístico; en particular los Márgenes de Seguridad ( $rh_{sd}$ ) se valorarán exactamente igual en ambos métodos.

El análisis efectuado con estos procedimientos estudia normalmente diferentes maniobras de reviro del buque en la que se consideran especialmente las características de los

buques relativos a este tipo de maniobras (número de hélices, hélices transversales, etc.), las condiciones climáticas límites de operación, la disponibilidad y características de los remolcadores, además de otros factores que afectan al dimensionamiento de estas superficies.

El procedimiento general de dimensionamiento comprenderá las fases siguientes:

- 1.º Conocer el modelo a utilizar y las limitaciones del mismo, especialmente aquellos aspectos que no puedan reproducirse en el estudio y que deberán ser abordados por procedimientos determinísticos.
- 2.º Conocer las características del Area de Maniobras y de su entorno (definición geométrica de la zona, batimetría y niveles de agua, clima marítimo existente en la zona, etc.). El nivel de definición requerido a este respecto puede variar significativamente según el sistema de simulación utilizado.
- 3.º Definir los sistemas de señalización y balizamiento que se pueden instalar, así como la forma en que se incorporan al simulador.
- 4.º Definir las condiciones climáticas límites de operación según el tipo y las dimensiones de los buques, los remolcadores disponibles o cualquier otra condición particular que se pueda definir en cada caso.
- 5.º Definir los remolcadores disponibles y su intervención en las maniobras en función del tipo y dimensiones de los buques, condiciones climáticas existentes o cualquier otra condición que se establezca.
- 6.º Concretar los «escenarios» que se van a reproducir en el simulador. Se entiende por «escenario» el conjunto de condiciones que definen una maniobra (que se repetirá varias veces para darle un tratamiento estadístico), comprendiendo al menos los aspectos siguientes:
  - El tipo de buque representativo del tramo de flota que quiera estudiarse y sus características para este tipo de maniobras.
  - Las condiciones climáticas límites de operación representativas del intervalo que se vaya a analizar.
  - Los remolcadores y otras ayudas a la navegación que estarán disponibles en esta operación.
- 7.º Definir el número de pasadas que se van a efectuar en el simulador repitiendo la maniobra correspondiente a un mismo escenario. En la medida en que se disponga de un mayor número de pasadas aumentará la precisión del estudio, con la contrapartida de incrementar los costos de la simulación. Se recomienda utilizar un número de pasadas comprendido entre 12 y 15 para la realización de proyectos definitivos.
- 8.º Concretar las secciones transversales del Area de Maniobras en las que se va a efectuar la evaluación de espacios ocupados por el buque. Se recomienda obtener una envolvente o registro continuo de todas las posiciones ocupadas por el buque en cada una de las maniobras, lo que facilita el estudio de las áreas ocupadas.
- 9.º Analizar estadísticamente los resultados obtenidos en el simulador, atendiendo a la finalidad del estudio. Si el objetivo es sólo determinar la superficie del Area de Maniobra el interés estará únicamente en los valores límites de la ocupación de espacios, si además se quiere optimizar la posición de los ejes del Area será necesario analizar las desviaciones del centro de gravedad del buque en relación con la configuración prefijada de referencia. En todos los casos el proceso será determinar las funciones de densidad y las de excedencia, ajustando diferentes funciones de distribución (Normal, Gumbel, Weibull, etc.), para cada una de las secciones transversales de estudio, determinando sus coeficientes de correlación y seleccionando las funciones de mejor ajuste, que en general serán las de tipo simétrico para el estudio de la posición del centro de gravedad y las de tipo asimétrico cuando se analice la ocupación de espacios en cualquiera de las dos bandas.
- 10.º Seleccionar las funciones de distribución (preferentemente un mismo tipo para las bandas y otro para el centro de gravedad, si es preciso). Para optimizar los ejes

del Area de Maniobras se utilizarán en cada sección los valores medios de la función de densidad de la desviación del centro de gravedad. Para analizar la anchura del Area de Maniobra, se utilizarán las funciones de probabilidad de excedencia, determinándose además las bandas de confianza más desfavorables (las que produzcan mayor ocupación) correspondientes al 95%; sobre estas bandas de confianza se calculará la probabilidad de excedencia ( $p_{ij}$ ) de que esa Area de Maniobras sea sobrepasada en esa sección por un buque del tipo ( $i$ ) en las condiciones de operatividad del intervalo ( $j$ ) —escenario analizado— entrando así con el procedimiento descrito en el apartado 2.5 y particularmente en el subapartado 2.5.6.

La anchura nominal de cada sección estudiada del Area de Maniobras determinada por este método semiprobabilístico será:

$$B_n = [\text{Anchura entre bandas calculada estadísticamente en función del riesgo «E» prefijado}] + [\text{sobreanchos debidos a efectos no contemplados en el simulador, que se calcularán con los criterios establecidos por el método determinístico}] + [\text{Margen de Seguridad «}rh_{sd}\text{» valorado con los criterios establecidos por el método determinístico}]$$

#### **8.6.5. DIMENSIONAMIENTO DE LA ZONA DE ARRANCADA DE BUQUES**

El dimensionamiento de la zona de arrancada de buques, ya sea por métodos determinísticos o semiprobabilísticos se efectuará con criterios análogos a los de la zona de parada, suponiendo que los barcos, en esta maniobra, pasen de velocidad nula a la admisible en las vías de navegación o rutas de acceso. Dado que en este proceso el buque irá mejorando su capacidad de control de la maniobra en la medida que vaya aumentando su velocidad, los aspectos de especialidad surgen en el tramo inicial de la maniobra y normalmente quedan cubiertos por las provisiones de espacio que se hayan efectuado en relación con las maniobras de acceso, si ambas maniobras se realizan en las mismas condiciones Climáticas Límites de Operación y contando con la misma asistencia de remolcadores. En el caso de que estas circunstancias no se cumplan deberán verificarse los aspectos siguientes:

- La capacidad de los elementos de remolque y otros medios propios del buque (hélice, timón, hélices transversales, etc.) para controlar la posición del buque, con las márgenes de seguridad que se especifican en el capítulo 5.
- Los movimientos (giros y desplazamientos) descontrolados del buque que puedan presentarse en esta fase inicial de las maniobras y la incidencia que pudieran tener en la ruta y espacios ocupados posteriormente por el buque.

#### **8.6.6. BALIZAMIENTO DE LAS AREAS DE MANIOBRAS**

El balizamiento de las zonas de parada del buque se efectuará con los criterios de la AISM, utilizando las marcas habituales (cardinales, laterales, enfilaciones, etc.) que allí se establecen y prestando la atención preferente a la definición de los bordes del área de navegación, ya que el buque normalmente abandonará el eje de la vía y necesitará conocer con precisión la situación en que se encuentra en relación con los límites del área disponible.

El balizamiento de las áreas de maniobra se dirigirá fundamentalmente a señalar los contornos de las superficies disponibles (que normalmente serán polígonos de lados rectos envolventes de las superficies requeridas), así como los ejes y puntos fundamentales para la maniobra (rutas de acceso a las áreas de maniobra, área central para el fondeo de anclas, etc.). La proximidad de estas áreas a las infraestructuras existentes permitirá que en gran número de casos puedan utilizarse referencias fijas para este balizamiento.

### **8.7. FONDEADEROS**

#### **8.7.1. DEFINICION**

Se denomina fondeadero a la zona en la que los buques arrojan el ancla, o fondean, en espera de poder entrar en la parte del puerto destinada a realizar las operaciones típica-

mente portuarias (carga, descarga, avituallamiento, reparaciones, etc.), lo que no excluye que frecuentemente estas operaciones se realicen también en los fondeaderos.

Generalmente los puertos se establecen en el fondo de bahías o radas naturales suficientemente amplias y, cuando menos parcialmente, abrigadas de los temporales y marejadas por salientes de la costa, arrecifes, islotes, bajos fondos o, en definitiva, por la conveniente forma de las curvas batimétricas. En estos casos los fondeaderos se sitúan habitualmente en el antepuerto o en aguas exteriores próximas al puerto, aunque también pueden disponerse fondeaderos abrigados por espigones artificiales. En otros casos los puertos se sitúan al final de canales de navegación y los fondeaderos podrían también disponerse en ensanchamientos del canal de navegación. Tratándose de instalaciones situados en Alta Mar («Offshore») los fondeaderos quedarían emplazados en zonas generalmente poco abrigadas.

### **8.7.2. FACTORES QUE AFECTAN A SU PROYECTO**

El proyecto de un fondeadero depende principalmente de los factores siguientes:

- El tamaño, dimensiones y características de los buques más desfavorables que se prevé recibir (que pudieran no ser los mayores), por lo que habitualmente se precisará analizar diversos tipos de buques).
- El tipo de operaciones que se prevea desarrollar en ellos, incluidas las características típicamente portuarias, así como la naturaleza de las mercancías transportadas por los buques que utilizarán el fondeadero y, en su caso, las de las mercancías que se manipularán en ellos.
- La duración de la estadía al ancla de los buques que permanecerán u operarán en el fondeadero.
- La configuración general del emplazamiento y la disponibilidad de espacios para la realización de las maniobras de acceso, verificación, permanencia, operación y salida.
- El número de puntos de fondeo a instalar en el emplazamiento.
- El clima marítimo existente en la zona y las condiciones límites de operación que se establezcan para las diferentes funciones.
- Las características físicas del emplazamiento y en particular la profundidad y declive del fondo y la calidad de los suelos para servir de tenedero de anclas.
- Las condiciones medioambientales a preservar en el emplazamiento y la disponibilidad de medios de lucha anticontaminación disponibles en el caso de efectuarse operaciones de carga y descarga de mercancías.
- La disponibilidad de remolcadores y otros elementos de ayuda a la navegación y a las operaciones portuarias, en su caso.
- La proximidad de embarcaderos o muelles para embarcaciones menores auxiliares de las operaciones.

El estudio de todos estos factores supera el alcance de esta ROM, por lo que se recoge a continuación un análisis de aquellos puntos que afectan al dimensionamiento de estas Areas.

#### **a) CAPACIDAD DEL FONDEADERO**

El fondeadero debe tener la amplitud suficiente para permitir que el o los buques puedan desplazarse libremente con un adecuado margen de seguridad según el sistema de fondeo elegido, considerando el tiempo de permanencia de los buques, sus esloras y longitudes previstas de cadena a filar, y tomando debido resguardo de los peligros o buques próximos en caso de garreo de anclas. En el apartado 8.7.3 se establecen las dimensiones recomendadas según los diferentes sistemas de fondo y los criterios para la distribución de fondeaderos.

#### **b) PROFUNDIDAD**

La profundidad de agua mínima requerida en el fondeadero se establecerá con los criterios definidos en el Capítulo 7. La profundidad máxima deseable depende de la longitud

y el peso de cadena disponible, pero en general no es conveniente que supere el triple de la profundidad mínima requerida por el Buque de Proyecto.

En lo que se refiere a la topografía o relieve del fondo, es necesario que no presente grandes declives, pues si la cadena trabaja en la dirección de las mayores profundidades, el ancla puede deslizarse por la pendiente y garrear con facilidad, siendo improbable que haga cabeza nuevamente.

#### c) CALIDAD DEL TENEDERO

Usualmente en los derroteros se indica la clase de fondo y bondad del tenedero, información muy importante para evaluar la idoneidad de fondeadero.

Los mejores tenederos son los de arena fina y dura, arena fangosa y fango compacto; son aceptables los de arena y conchilla, así como los de piedra suelta, grava y cascajo. Los fondos de arcilla son buenos, pero tienen el inconveniente de que si el ancla garrea es difícil que vuelva a morder, pues sus brazos y uñas se empastan quedando envueltos en una masa de arcilla; por esta razón, en caso de garreo se aconseja levar el ancla y lavarla antes de repetir un nuevo intento de fondeo.

Los fondos de fango blando son relativamente poco seguros, pues si bien resultan fáciles de hacer presa, es probable que se llegue a garrear sin que la cadena dé estrepadas perceptibles. Si el ancla se entierra demasiado profundamente en el fango, puede llegar a ser imposible levarla; si la permanencia en el lugar va a ser muy prolongada, es conveniente zarpar y volver a fondear de vez en cuando.

Son malos tenederos los de roca o coral y los excesivamente duros, pues las uñas del ancla no agarran en los mismos y, de encajarse en alguna saliente del fondo, puede ocurrir que zafen al bornear el buque o se enroquen de manera tal que se dificulte o imposibilite su recuperación.

Las antiguas anclas de cepo garreaban con bastante facilidad en fondos muy blandos; los modelos más recientes y perfeccionados hacen cabeza satisfactoriamente en casi cualquier clase de fondo, porque se entierran más profundamente durante la fase final de irse arrastrando antes de agarrarse en firme. Esto no quiere significar que el factor calidad de fondo haya perdido su importancia. Como dato aclaratorio se puede citar los resultados de las pruebas realizadas con las anclas más eficientes en uso, según los cuales con buen tenedero aguantan una tracción de 10 veces su peso sin garrear, con fondos excepcionalmente buenos (mezcla de arena, cascajo y arcilla) soportan  $12\frac{1}{2}$  veces su peso, y con fondos de pobres cualidades (fango blando), sólo 6 veces su peso.

#### d) ABRIGO AL VIENTO Y AL MAR

A efectos de diseño se debe elegir el fondeadero de acuerdo con los vientos reinantes buscando el mayor resguardo natural posible, tratando asimismo de lograr suficiente protección contra los efectos del oleaje. Para las condiciones específicas de uso de cada caso concreto deberá atenderse a las condiciones climáticas pronosticadas, siendo aconsejable fondear más cerca de la costa de barlovento para disponer de mayor espacio libre en caso de garreo.

#### e) CORRIENTES

La corriente, según su dirección e intensidad, puede hacer garrear al buque, especialmente cuando éste por su acción se atraviesa al viento o cuando el tenedero es malo. A efectos de uso se debe prestar especial atención a los cambios de la corriente, y en cualquier caso, deben tenerse siempre las máquinas «en atención» en previsión de emergencias.

#### f) CONDICIONES LIMITES DE OPERACION

Las condiciones de clima marítimo que se establecen habitualmente como límites de operación para fondeaderos son las que se indican a continuación, dependiendo del buque, del tipo de fondeo y de la operación que se prevea desarrollar en ellos. La velocidad del viento está determinada para buques normales; en el caso de tratarse de barcos con mucha superficie expuesta al viento (metaneros, portacontenedores, petroleros en lastre, etc.) las velocidades del viento límites de operación serán un 20% inferiores a las indicaciones en la tabla.



	Velocidad absoluta del viento $V_{10.1 \text{ min}}$	Velocidad absoluta de la corriente $V_{c. 1 \text{ min}}$	Altura de ola $H_s$
— Maniobras de aproximación y amarre	17.0 m/s	2.0 m/s	2.5 m
— Permanencia del buque en el fondeadero:			
• Fondeos a la gira	24.0 m/s	2.0 m/s	3.5 m
• Fondeos a barbas de gato	30.0 m/s	2.0 m/s	4.5 m
• Fondeos a la entrante y vaciante y fondeos con un ancla en proa y otro en popa:			
Acciones longitudinales	24.0 m/s	2.0 m/s	3.5 m
Acciones transversales	Fondeadero no operativo		
— Operaciones de carga y descarga	Dependen de las características de los equipos		

#### g) TRAFICO MARITIMO EN LA ZONA

Se tratará de no situar los fondeaderos ni fondear cerca de las rutas muy frecuentadas, particularmente cuando existan malas condiciones de visibilidad.

#### h) FACILIDADES NAUTICAS PARA TOMAR Y ABANDONAR EL FONDEADERO

En lo posible se debe elegir un fondeadero de fácil entrada y salida, tanto diurna como nocturna, y que cuente con un adecuado balizamiento natural o artificial que permita situar al buque con precisión y seguridad al transitar en su acceso y durante la permanencia al ancla.

### 8.7.3. DIMENSIONES DE LOS FONDEADEROS

#### a) FONDEO DE UN BUQUE A LA GIRA

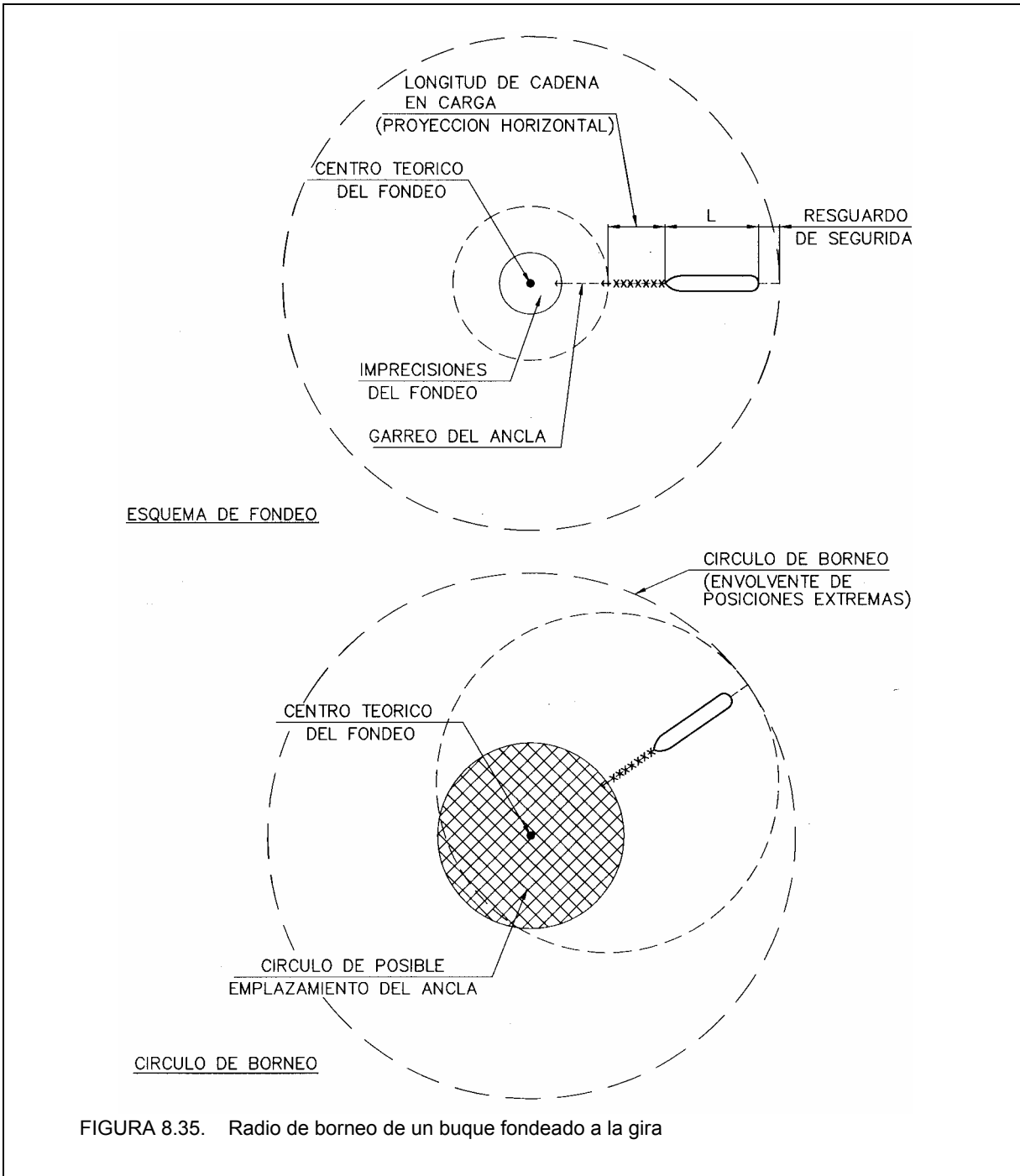
Se dice que un buque fondea a la gira con un ancla por proa, cuando deja filar la cadena, a la que está unida el ancla, a través del escobén, (abertura practicada en el casco en la parte superior de la proa), permitiendo que el ancla haga presa en el fondo, que queda así como elemento único de fijación. Para quitar el ancla se actúa sobre la cadena por medio del molinete, almacenándose la cadena levantada en las cajas de cadena, y alojándose el ancla en el escobén.

El radio de borneo medido al nivel de la cubierta del buque se puede calcular por el método determinístico sumando los siguientes conceptos (Ver fig. 8.35):

1. Eslora total del buque ( $L$ ).
2. Longitud de cadena que se prevé filar en el fondeadero. Para su determinación analítica ver apartado 8.7.3.e. Es prudente considerar para el cálculo la cantidad total de cadena disponible, para así cubrir la posibilidad de que por vientos, oleajes o corrientes fuertes sea necesario filarla por completo.
3. Una distancia adicional de seguridad para cubrir imprecisiones del fondeo, destinada a englobar errores tales como los debidos a la exactitud del método empleado para situar la posición del buque a fondear, o el recorrido del buque en el tiempo que transcurre entre el momento en que se da la orden de fondeo y el instante en que el ancla termina por hacer cabeza en el fondo. También influye la bondad cartográfica y el grado de adiestramiento del personal que interviene en la operación. Esta distancia de seguridad depende de diversos factores, pudiendo aceptarse un valor que varía entre 25 y el 50% de la eslora total ( $L$ ) del buque considerado.
4. Un margen adecuado de preaviso para el caso de garreo del ancla que puede evaluarse con los criterios siguientes, determinados en función de la velocidad del viento (criterios análogos podrían establecerse para la acción aislada o combinada de vientos, oleajes y corrientes, considerando la resultante de las fuerzas longitudinales que actúan sobre el buque):

— Fondos con buena resistencia al anclaje:

- Fondeo con velocidad del viento  $\leq 10$  m/s 0 m.



- Fondeo con velocidad del viento de 20 m/sg                    60 m.
  - Fondeo con velocidad del viento de 30 m/sg                    120 m.
  - Fondeo con velocidad del viento  $\geq$  30 m/sg                    180 m.
- Fondos con mala resistencia al anclaje
- Fondeo con velocidad del viento  $\leq$  10 m/sg                    30 m.
  - Fondeo con velocidad del viento de 20 m/sg                    90 m.
  - Fondeo con velocidad del viento de 30 m/sg                    150 m.
  - Fondeo con velocidad del viento  $\geq$  30 m/sg                    210 m.

Para evaluar la resistencia al anclaje de los fondos atendiendo a su naturaleza ver el apartado «c» del artículo 8.7.2. dedicado a la calidad del tenedero.

5. Un resguardo de seguridad que pueda cifrarse en un 10% de la eslora total ( $L$ ), con un mínimo de 20 m, (salvo para embarcaciones pesqueras y deportivas que podría reducirse a 5 m).

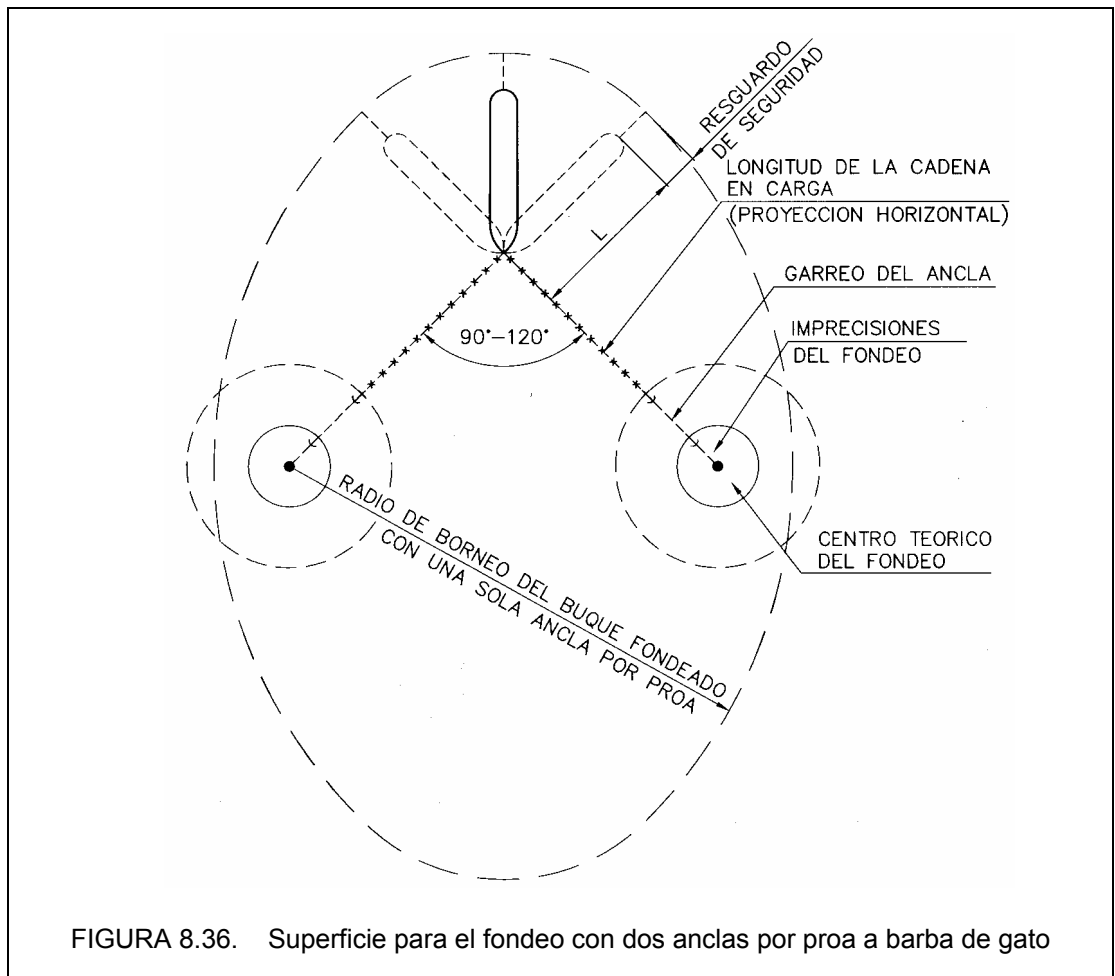
El cálculo por el procedimiento semiprobabilístico no es recomendable, a no ser que se disponga de una información fiable sobre el garreo del ancla (punto 4 de la relación anterior), aplicable al emplazamiento concreto que se considere.

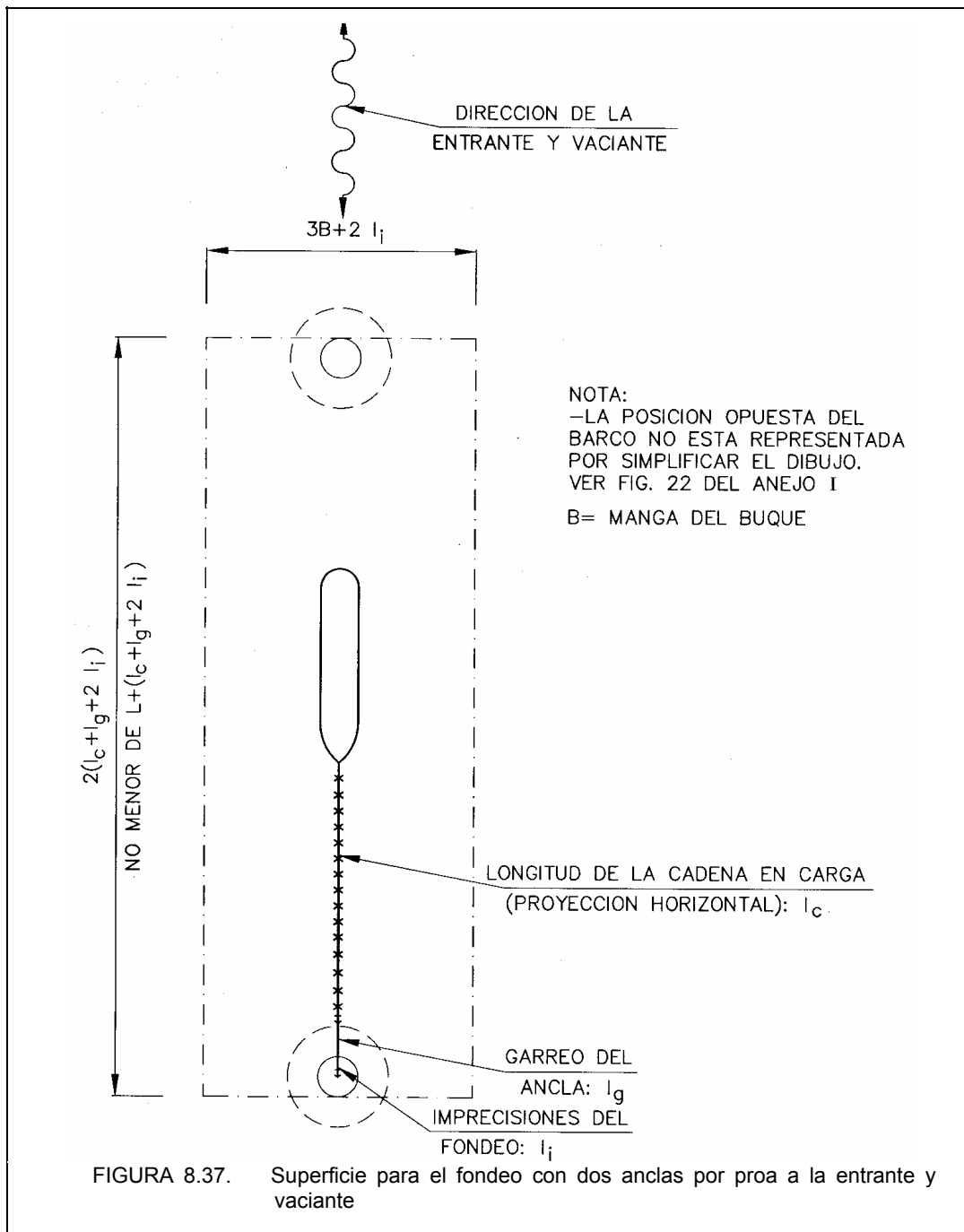
#### b) FONDEO DE UN BUQUE A BARBAS DE GATO

La superficie ocupada por un buque fondeado con dos anclas por proa a barbas de gato se determina en función de la compatibilidad de desplazamientos impuestos por cada una de las líneas de anclaje. El esquema resultante se recoge en la figura 8.36 en la que todas las dimensiones que intervienen en su determinación están definidas en el apartado anterior.

#### c) FONDEO DE UN BUQUE A LA ENTRANTE Y VACIANTE

La superficie ocupada por un fondeo de estas características, viene también impuesta por los condicionantes de compatibilidad de desplazamientos. El esquema resultante se recoge en la fig. 8.37, en la que todas las dimensiones que interesen en su determinación están definidas en el apartado «a» de este artículo. Se hace notar que este sistema de fondeo no tiene prácticamente condiciones de fijación del barco para acciones transversales, por lo que no puede utilizarse cuando se prevea la actuación de esfuerzos en este sentido; su utilización está prácticamente limitada a los casos en los que la acción sea la de la marea, con sentidos de actuación opuestos en entrante y vaciante.

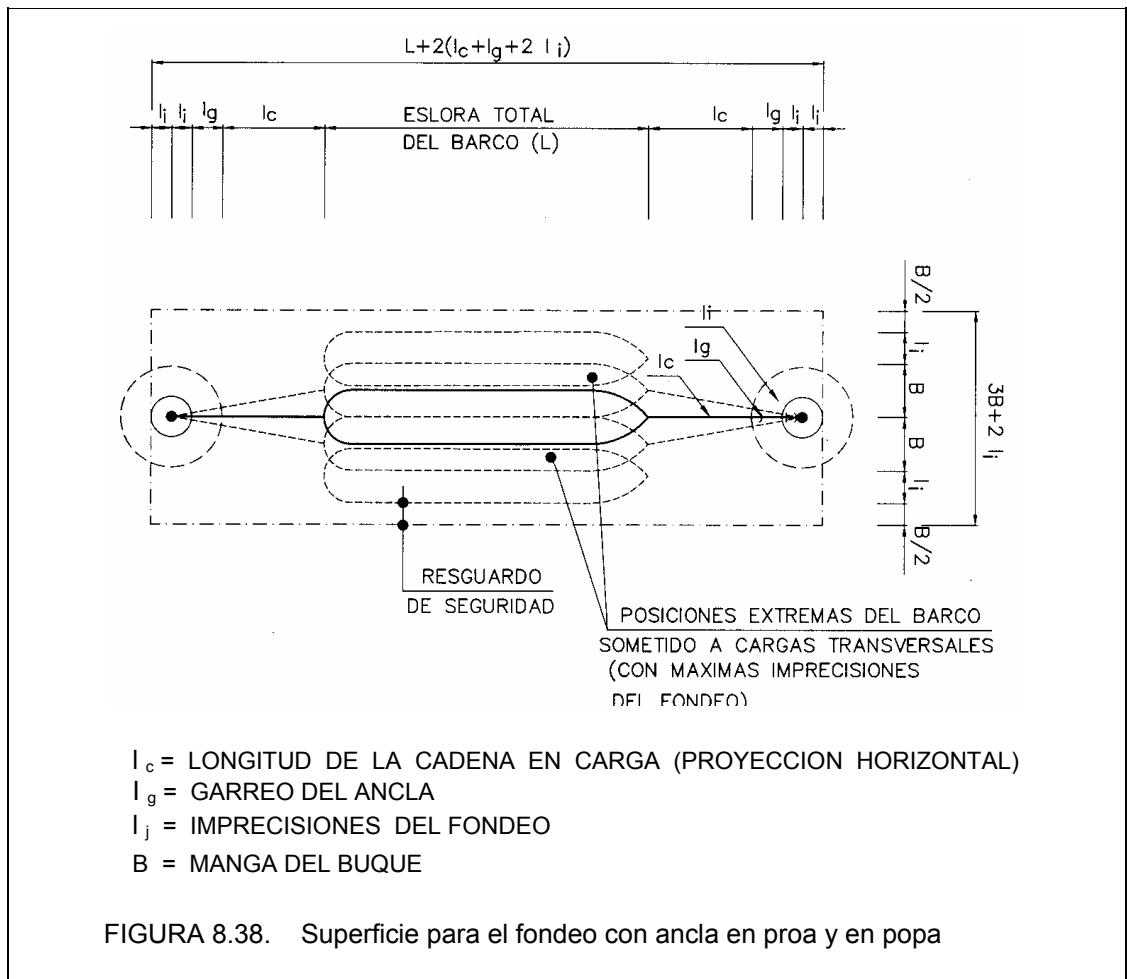




d) FONDEO DE UN BUQUE CON ANCLA EN PROA Y EN POPA

La superficie ocupada por un fondeo de estas características viene también impuesto por las condiciones de compatibilidad de desplazamientos. El esquema resultante se recoge en la fig. 8.38, en la que todas las dimensiones que intervienen en su determinación están definidas en el apartado «a» de este artículo. Este sistema de fondeo tiene unas condiciones precarias de fijación del buque en sentido transversal, necesitando en cualquier caso que se produzcan grandes recorridos del buque para tener eficacia resistentes en ese sentido. Su utilización también está limitada a los casos en los que la acción predominante sea la de la marea, con sentidos de actuación opuestos en entrante y vaciante.

Este tipo de fondeo sólo se puede hacer en buques provistos de un ancla en su popa, de los que existen muy pocos, o en buques muy pequeños que dispongan de anclas en proa y de un rezón (anclote pequeño que se puede fondear y levar a mano) que se pudiera fondear por la popa, o de dos rezones.



e) LONGITUD DE CADENA A FILAR

La longitud de cadena que debe filar un buque determinado depende de numerosos factores, y especialmente de la bondad del tenedero, de la duración de la permanencia en el fondeadero, del espacio para bornear disponible teniendo en cuenta la proximidad de peligros fijos o de otros buques, del abrigo que ofrece el fondeadero al viento, oleajes o corrientes, del estado del tiempo predominante y pronosticado, de la intensidad y dirección de las corrientes prevaecientes, y, por último, en muy importante medida, de la profundidad del lugar.

En forma tradicional la mayoría de los autores aconseja emplear en condiciones normales promedio una longitud básica de cadena a filar del orden de 3 a 4 veces la profundidad de agua en pleamar para estancias cortas y buen abrigo, y de 5 a 7 veces para estancias largas y peores condiciones de abrigo.

El punto fundamental que debe destacarse es que e ancla se comporta con máxima eficiencia cuando la cadena ejerce sobre ella una tracción horizontal o paralela al fondo, y que el objetivo debe ser filar tanta cadena como sea necesaria para asegurar que se cumpla esa condición. Si por arriarse insuficiente longitud de cadena no se logra tal propósito, el ancla perderá gran parte de su poder de agarre y probablemente garreará. A título indicativo se incluye la siguiente tabla que muestra cómo disminuye la capacidad de agarre del ancla en función de la inclinación que la cadena forma con el fondo a la altura del arganeo:

Angulo de inclinación:	0°	5°	10°	15°
% del máximo poder de agarre:	100%	80%	60%	40%

Quiere decir que basta con que la cadena forme un ángulo de 15° para reducir en más de la mitad la capacidad de agarre del ancla, lo cual es un importante elemento de juicio a tener en cuenta para prever las consecuencias de lo que pueda ocurrir cuando, por alguna razón, no sea posible filar suficiente cadena como para lograr que la misma trabaje paralela al fondo.

Suponiendo que el tamaño de la cadena del ancla haya sido elegido para proveer exactamente una carga de trabajo igual a la máxima capacidad de agarre del ancla, se puede aceptar que la longitud mínima de cadena a filar para asegurar que se ejerza una tracción horizontal sobre el ancla depende únicamente de la profundidad del lugar y del tipo de la cadena.

En la actualidad existen diferentes tipos de cadenas en uso, como son las de hierro forjado, acero dulce, acero fundido, forjado o estampado, y otras aleaciones de acero, al níquel o manganeso, siendo las más habituales las de acero dulce o hierro forjado.

La longitud ideal de cadena a filar para una determinada profundidad es la de una catenaria tal que asegure una tracción horizontal sobre el arganeo del ancla, cuando el esfuerzo que el buque ejerce sobre la cadena es igual a la carga del trabajo de aquélla. Si ese esfuerzo se hace mayor, la tensión de la cadena aumenta, la curvatura de la catenaria decrece, y se genera una componente vertical que tiende a levar el ancla haciéndola garrear antes que la cadena se vea sometida a esfuerzos anormales indebidos. La longitud ideal de cadena está dada por la siguiente fórmula:

$$l_c = \sqrt{(h + h_e) \left[ \frac{T_c}{2W} - (h + h_e) \right]} = \sqrt{h_{ef} \left( \frac{T}{2W} - h_{ef} \right)}$$

siendo:

$l_c$  : longitud de cadena a filar.

$H$  : profundidad de agua en el emplazamiento.

$h_e$  : altura del escobén sobre la superficie del agua.

$h_{ef}$  : altura del escobén sobre el fondo del fondeadero.

$T_c$  : carga de trabajo de la cadena con factor de seguridad 4 (es 1/4 de la correspondiente carga de rotura y no debe confundirse con la carga de prueba, que suele ser 2/3 de la resistencia de la cadena).

$W$  : peso de la cadena por unidad de longitud (se considerará el valor correspondiente a cadena sumergida).

Si se emplea menor longitud de cadena e buque tenderá a garrear antes que la cadena soporte la carga de seguridad para que fue diseñada. Si se usa mayor longitud la cadena puede quedar sometida a esfuerzos superiores a su carga de trabajo, debidos al peso propio, con riesgo de deformarse o llegar a partirse.

La fórmula anterior también puede utilizarse para determinar la longitud de cadena para cualquier otra carga de trabajo y, en particular, para la que correspondería a las acciones resultantes sobre el buque producidas por las condiciones climáticas límites de operación que se establezcan.

En el supuesto de que el espacio disponible no permitiese filar la longitud de cadena determinada por la fórmula anterior, podrían admitirse desarrollos menores correspondientes a ángulos de la cadena en el fondo de hasta 3°, si bien en este caso sería necesario tomar en consideración la reducción que se produciría en el poder de agarre del ancla.

La proyección horizontal de estas longitudes de cadena, que es el valor que interviene en la determinación de las configuración geométrica en planta de estas Areas de Flotación, se determinará para las condiciones de proyecto que finalmente se adopten, utilizando las ecuaciones de la catenaria.

#### f) SEPARACION ENTRE BUQUES FONDEADOS

El radio de borneo y superficie ocupada a que se acaba de llegar según los criterios anteriores aseguran que si cierto número de buques de la misma clase fondea a una dis-

tanda igual al doble de los valores calculados, se podrán producir las siguientes contingencias sin que ocasionen riesgos ni dificultades:

1. Dos buques adyacentes podrán bornear en direcciones opuestas en máximo acercamiento con sus cadenas completamente tesas. Esto es poco probable que llegue a suceder, ya que con vientos y corrientes apreciables presentarán en forma similar. Existe la posibilidad de que tiendan a bornear en sentido contrario por acción de la corriente, cuando esta rota o se invierte, y a la vez existan vientos leves, pero en ese caso las cadenas no estarán bien tesas.
2. Un buque fondeado en la enfilación de otros dos próximos adyacentes, puede levar y zarpar en forma independiente sin peligro de abordarlos.
3. Un buque puede efectuar su aproximación para tomar fondeadero entre otros dos ya fondeados, sin riesgo de que los adyacentes, al bornear, le dificulten su maniobra para ocupar estación.

Si se trata de buques de diferente tipo o clase, se les deberá separar en una distancia igual a la suma de sus respectivos radios de borneo o superficies ocupadas, para asegurar el cumplimiento de las tres condiciones que se acaban de citar.

En el caso particular de un puerto o zona de reducidas dimensiones, puede ocurrir que el espacio disponible no permita separar los buques en esa distancia deseable igual al doble o a la suma de radios de borneo (o superficies ocupadas). De ser necesario, se puede disminuir esta distancia hasta aceptar como mínimo el criterio de espaciar los fondeaderos adyacentes en una separación igual a la mitad del valor deseable establecido para buques de la misma clase; si fueran de distintos tipos se adoptará como separación el mayor radio de borneo. En este supuesto sólo quedarían cubiertas las contingencias 2. y 3., antes especificadas y habría que estar prevenidos contra borneos en acercamiento correspondientes a la posibilidad 1.; pero en condiciones normales y con buen tenedero, el riesgo que se corre es pequeño, y puede incluso eliminarse disponiendo un remolcador o embarcación auxiliar de potencia media que ayude a los buques a presentar en la misma posición.

Si aún procediendo de la forma que se acaba de indicar el espacio disponible resultase todavía insuficiente, podría reducirse aún más la separación entre los buques calculando el radio mínimo de borneo de la siguiente manera: eslora total del buque, más la longitud de cadena que realmente se prevea usar (ver apartado 8.7.3.e.), más el margen mínimo de seguridad para cubrir imprecisiones de fondeo (para lo cual debería balizarse adecuadamente el centro de estación de fondeo y definir la normativa de operación aplicable en cada caso), más el resguardo de seguridad con respecto al peligro. Este criterio elimina el riesgo de que en condiciones climáticas extremas pueda recurrirse a filar más cadena de la necesaria, así como el riesgo de garreo del ancla; por tanto, sólo podría aplicarse, si se establece como condición que el buque deberá abandonar el fondeadero cuando se alcancen las condiciones climáticas que se utilizaron para determinar la longitud de la cadena. Adicionalmente sería preciso comprobar si la separación entre buques permite desarrollar las maniobras de aproximación y salida sin interferencias.

#### g) DISTRIBUCION Y EMPLAZAMIENTO DE FONDEADEROS

La distribución y el emplazamiento de los fondeaderos se adaptará a las características físicas de la zona y a la utilización que se pretenda hacer de ellos. En particular, en el caso de que exista tráfico de buques con mercancías peligrosas se fijarán fondeaderos específicos para este tipo de buques en zonas alejadas del tráfico normal del puerto.

En ciertos emplazamientos, como es el caso de algunas radas abiertas, el amplio espacio disponible y lo parejo del fondo permiten establecer una disposición de fondeo de forma circular, con la estación cero o buque de referencia en el centro y las demás unidades fondeadas en círculos concéntricos, correspondiendo los de mayor diámetro a los buques de menor tamaño.

En zonas costeras donde el relieve del fondo presenta una pendiente suave y uniforme, se suelen ubicar los fondeaderos sobre diferentes líneas de marcación paralelas y prácticamente coincidentes con las isobatas, asignándose los más cercanos a tierra a los buques menores y los más profundos a las unidades mayores.

En el caso más general, cuando no se den las condiciones expuestas en los dos párrafos precedentes, se deberán acomodar los fondeaderos en forma irregular, adaptándolos a las características y dimensiones del lugar.

#### **8.7.4. BALIZAMIENTO DE LOS FONDEADEROS**

En los casos habituales, el balizamiento de los fondeaderos estará limitado a la definición del perímetro de las áreas de fondeo mediante boyas o balizas, sin que se prevea ningún tipo de balizamiento de los puntos de fondeo, que, en caso de uso, ya quedarán balizados por los propios sistemas del barco que los ocupe.

En el caso poco frecuente de que se opte por balizar cada uno de los posibles puntos de fondeo, se asignará a cada fondeadero o estación de fondeo un número que lo identifique, y su posición quedará determinada por enfilaciones, marcaciones y distancias, ya sea respecto de puntos notables y señales marítimas ubicadas en tierra, o con referencia a la estación cero u otro fondeadero adyacente.

### **8.8. AMARRADEROS Y CAMPOS DE BOYAS**

#### **8.8.1. DEFINICION**

Se incluyen dentro de este apartado las instalaciones en las que los buques permanecen amarrados a boyas u otros elementos fijos o flotantes, diferentes de los muelles, y en los que pueden realizar operaciones típicamente portuarias. El elemento diferencial de este tipo de instalaciones es la ausencia de muelles o atraques de tipo convencional, lo que no excluye que en determinados casos puedan disponerse de plataformas auxiliares en las que se concentran algunas operaciones relacionadas con la carga y descarga.

La utilización de este tipo de instalaciones viene en general impuesto por la ausencia de estructuras fijas de abrigo, ya sea por tratarse de emplazamientos situados en las aguas exteriores de los puertos, o porque no exista un mínimo de infraestructura portuaria que permita desarrollar en ella las operaciones típicamente portuarias.

Las instalaciones de este tipo responden fundamentalmente a dos tipologías principales:

- Monoboyas o monoduques de Alba.
- Campos de boyas, que en algún caso se configuran con utilización de las anclas del buque.

#### **8.8.2. FACTORES QUE AFECTAN A SU DIMENSIONAMIENTO**

Los factores fundamentales que afectan al dimensionamiento de amarraderos y campos de boyas son los siguientes:

- El tamaño, dimensiones y características de los Buques de Proyecto.
- El tipo de operaciones portuarias que se prevea desarrollar en ellos y la naturaleza de las mercancías a manipular.
- La configuración general del emplazamiento y la disponibilidad de espacios para la realización de las maniobras de acceso, permanencia y salida.
- El número de amarraderos y campos de boyas a instalar en el emplazamiento.
- El clima marítimo existente en la zona, y las condiciones límites de operatividad que se establezcan para las diferentes operaciones portuarias.
- Las condiciones medioambientales a preservar en el emplazamiento y la disponibilidad de medios de lucha anticontaminación disponibles en el caso de determinadas cargas.
- La disponibilidad de remolcadores y otros elementos de ayuda a la navegación y a las operaciones portuarias.

#### **8.8.3. DIMENSIONES DE LAS AREAS DE FLOTACION REQUERIDAS**

##### **a) MONOBOYAS O MONODUQUES DE ALBA**

En el caso de que el buque se amarre a una boya, o cualquier otro tipo de estructura (monopilote, torre, etc.) por proa, el radio de borneo medio al nivel de la cubierta del bu-

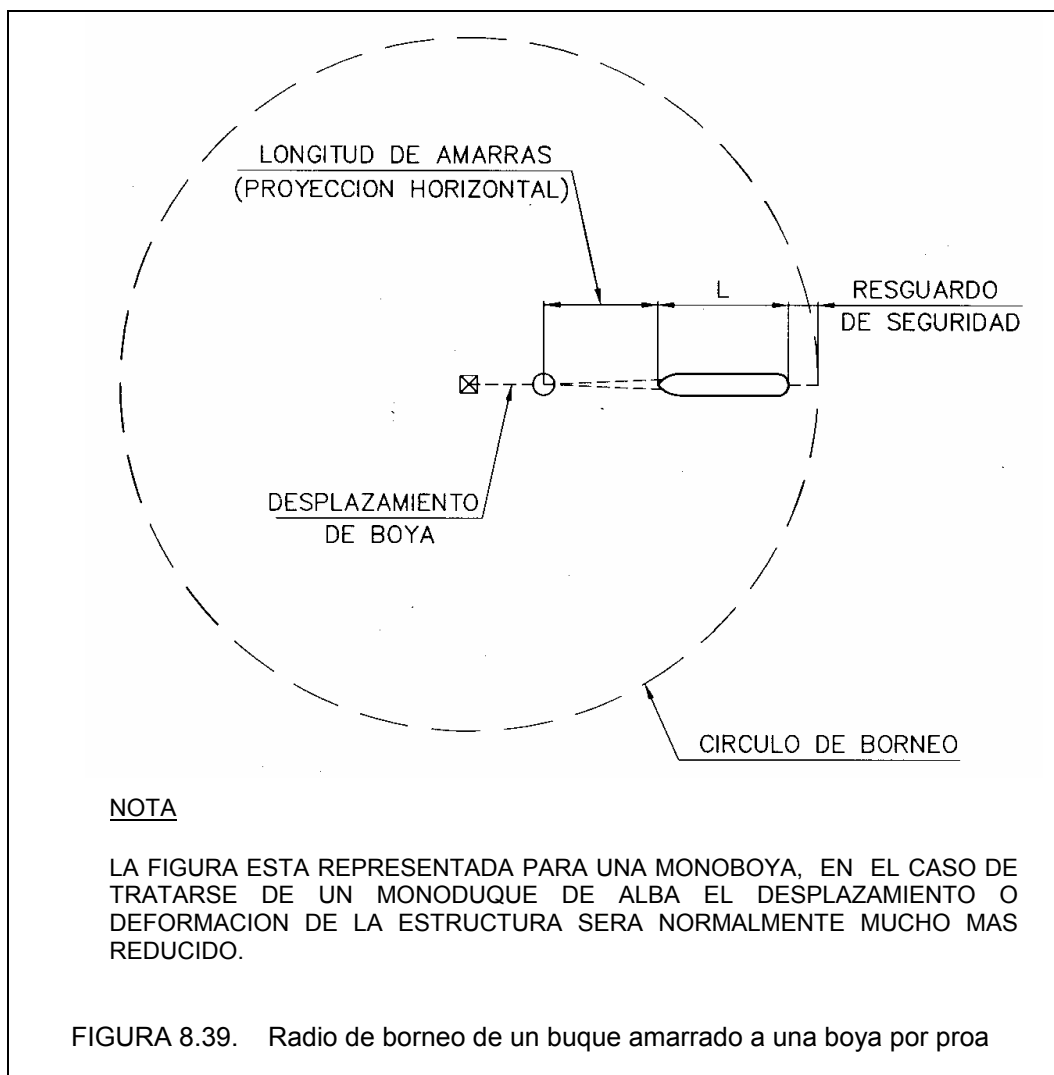


que se puede calcular por el método determinístico, sumando los siguientes conceptos (Fig. 8.39):

1. Eslora total del buque ( $L$ ).
2. Longitud de las amarras en carga, que se determinará en función de las características de buque, de la boya y de las condiciones climáticas límite de operación aceptadas.

A título preliminar puede suponerse para monoboyas o estructuras flexibles, que son las más habituales, que la longitud de amarras es de 35 m, para grandes buques hasta 100.000 t. de desplazamiento y de 45 m para buques superiores a las 200.000 t. de desplazamiento, pudiendo interpolarse linealmente para buques intermedios; para embarcaciones menores (pesqueras y deportivas, con esloras inferiores a 20 m) podrá superarse una longitud de amarras, también a título preliminar, del 30% de la eslora total ( $L$ ) del buque. Estas longitudes deberán incrementarse en el alargamiento elástico de las amarras al entrar en carga, que puede evaluarse, aproximadamente, en un 25 a 30% de su longitud, dependiendo del material con que estén fabricadas.

3. Desplazamiento de la boya o de la estructura que se considere en relación con su centro teórico, debido a las cargas transmitidas por el buque y a las acciones directas sobre la propia boya, en las condiciones climáticas límites de permanencia que se establezcan.
4. Un resguardo de seguridad que puede cifrarse en un 10% de la eslora total ( $L$ ), con un mínimo de 20 m (salvo para embarcaciones pesqueras y deportivas que podrían reducirse a 5 m).



El cálculo por el método semiprobabilístico no es aconsejable, dado que las mayores incertidumbres de este dimensionamiento provienen del comportamiento estructural de los sistemas de amarre en condiciones límite de operación y su incidencia no es significativa.

El dimensionamiento resultante con estos criterios conduce a unos radios de borneo muy inferiores a los determinados para fondeos con anclas, ya que en este caso no se presentan algunas de las incertidumbres que allí se contemplan, por lo que en general, las dimensiones obtenidas son insuficientes para mantenerlas como distancias de seguridad a peligros cartográficos concretos, ya que no dejarían espacio suficiente para garantizar las maniobras de aproximación y salida de buques a la monoboya o instalación que se considere.

Asimismo y en el supuesto de que se contemplaran varios puntos de fondeo, si se mantuviera una separación entre cada dos de ellos igual a la suma de sus respectivos radios de borneo, se eliminaría el riesgo de contacto entre buques adyacentes fondeados, pero en general la separación sería también insuficiente para garantizar la navegación de aproximación y salida del fondeadero, sin interferencias con otros buques fondeados en la zona. Será preciso considerar por tanto además de las limitaciones derivadas del radio de borneo del buque fondeado, las que provengan de las maniobras de aproximación y salida de buques, estudiando al respecto los buques más desfavorables (que podrían no ser los de mayores desplazamientos que operarían en las diferentes estaciones de fondeo, de manera que pudieran efectuarse estas operaciones con los márgenes de seguridad adecuados (ver apartado 8.6).

A título indicativo y a reserva de estudios de mayor precisión pueden establecerse las siguientes distancias de seguridad desde el centro de la boya o punto de anclaje al peligro cartográfico considerando:

- En emplazamientos expuestos: 4 x Eslora total Buque Proyecto
- En emplazamientos semiprotegidos: 3 x Eslora total Buque Proyecto
- En rías y estuarios protegidos:
  - Con peligros cartográficos en un sector menor de 60° alrededor del centro de la boya: 2 x Eslora total Buque Proyecto
  - Con peligros cartográficos en un sector mayor de 120° alrededor del centro de la boya: 3 x Eslora total Buque Proyecto

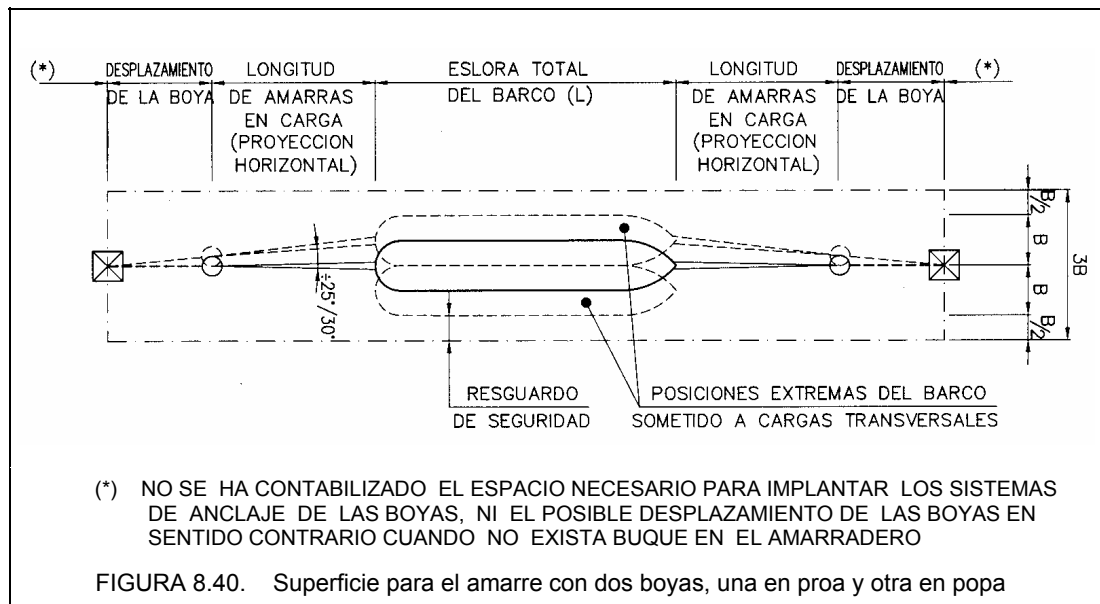
#### b) CAMPOS DE BOYAS

Las dimensiones requeridas para la implantación de un campo de boyas depende de la configuración que se adopte para el conjunto y de la utilización o no de las propias anclas del buque como sistemas de sujeción del barco. Entre los múltiples esquemas que se pueden desarrollar se han representado en las fig. 8.40 a 8.44 los casos más habituales, correspondientes a los supuestos siguientes:

- Amarre a dos boyas una en proa y otra en popa.
- Fondeo con dos anclas por proa y amarre a dos por boyas por popa.
- Amarre a dos boyas por proa y dos boyas por popa.
- Fondeo con dos anclas por proa y amarre a tres boyas por popa.
- Amarre en campo de boyas.

En las citadas figuras se recogen las dimensiones necesarias para mantener el buque amarrado en condiciones de seguridad con sus resguardos correspondientes, y requerirán por tanto complementarse con las dimensiones de las áreas de navegación de aproximación y salida necesarias para fondear el buque en la posición requerida.

El cálculo está basado en el método determinístico; el procedimiento semiprobabilístico de cálculo no es aconsejable, dado que las mayores incertidumbres de este dimensionamiento provienen del comportamiento estructural de los sistemas de amarre en condiciones límites de operación, y su incidencia no es significativa.



#### 8.8.4. CONDICIONES OPERATIVAS

Las condiciones climáticas que se establecen habitualmente como límites de operación para amarraderos y campos de boyas son las que se recogen a continuación, dependiendo de que el buque pueda orientarse libremente a la posición de mínima resistencia, o que la orientación del buque amarrado sea prácticamente fija.

	Amarradero con orientación libre			Amarraderos con orientación fija (campos de boyas, etc.)
	Amarre a monoboyas	Amarre a minimonoboyas (emb. pesqueras y deportivas) (1)	Amarre a monoduques de Alba	
— Maniobra de aproximación y amarre:				
• Velocidad absoluta del viento $V_{10,1min}$	17 m/s	17 m/s	17 m/s	10 m/s
• Velocidad absoluta de la corriente $V_{c1min}$	2.00 m	2.00 m	2.00 m	0.5 m
• Altura de la ola $H_s$	2.50 m	2.00 m	2.50 m	2.00 m
— Permanencia de buque en el fondeadero:				
• Velocidad absoluta del viento $V_{10,1min}$	30 m/s	24 m/s	30 m/s	30 m/s-22 m/s (2)
• Velocidad absoluta de la corriente $V_{c1min}$	2.00 m	2.00 m	2.00 m	2.00 m-1.00 m (2)
• Altura de la ola $H_s$	4.50 m	2.50 m	3.50 m	3.00 m-2.00 m (2)

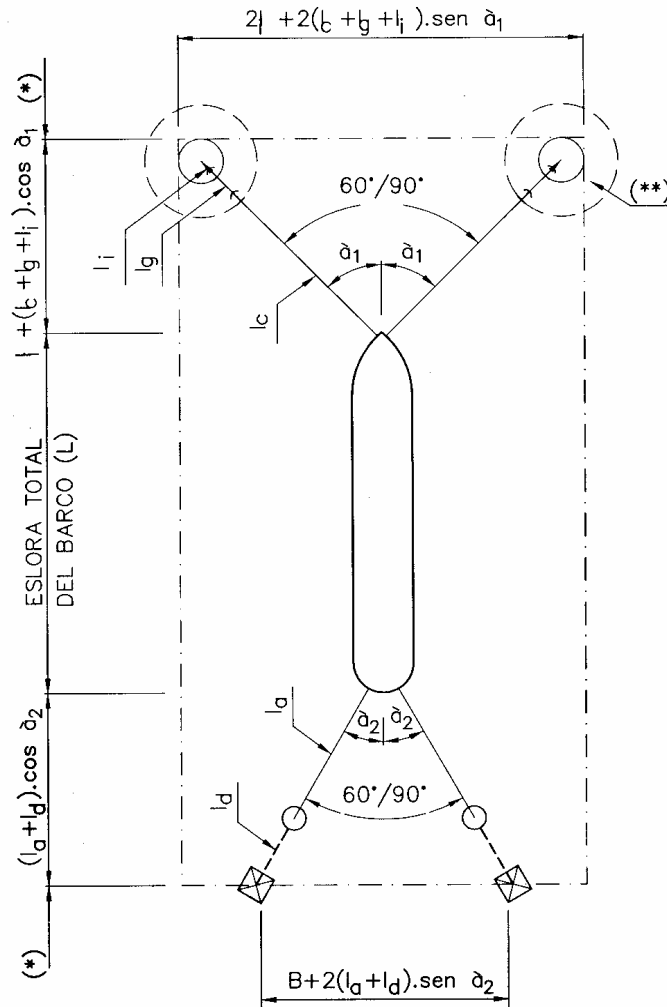
- (1) El amarre a minimonoboyas o boyas de pequeña dimensión se presenta habitualmente en embarcaciones pesqueras y deportivas.
- (2) La primera cifra corresponde a acciones longitudinales al buque y la segunda a acciones transversales al buque.

Las condiciones límite de operación para la carga y descarga dependen fundamentalmente del tipo de mercancías a manipular y de las características de los equipos que se prevean, sin que pueda establecerse de una forma generalizada simplificada.

#### 8.8.5. BALIZAMIENTO DE LOS AMARRADEROS Y CAMPOS DE BOYAS

El balizamiento de los amarraderos y campos de boyas debe ir dirigido fundamentalmente a marcar los aspectos siguientes:

- Los elementos flotantes y fijos que constituyan el fondeadero (boyas, torres, plataformas, mangueras, etc.).
- Los elementos sumergidos que se utilicen en la operación de las instalaciones (mangueras sumergidas, válvulas submarinas, etc.), tomando en consideración los condicionantes de su uso.
- Las enfílaciones y marcas necesarias para la navegación y fondeo de las anclas en los puntos requeridos.

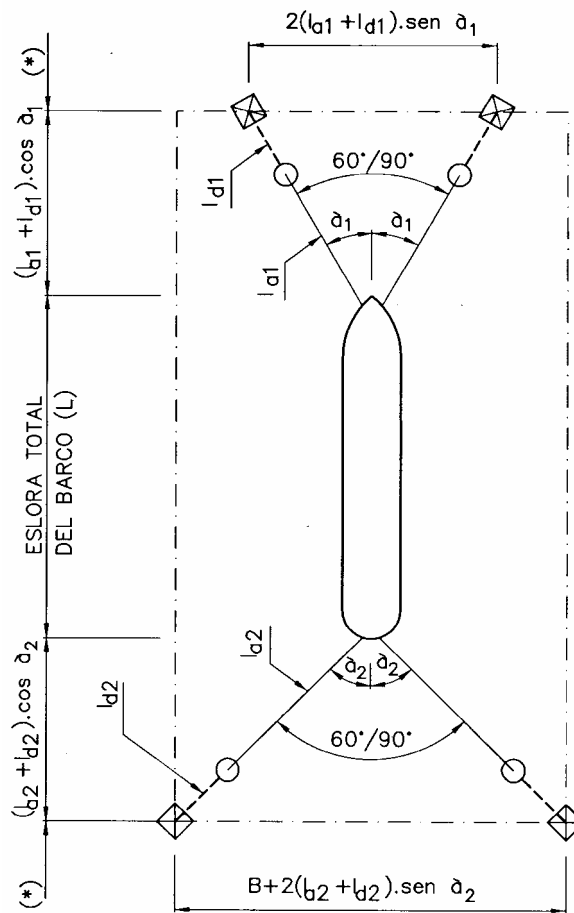


$l_a$  = LONGITUD DE AMARRES EN CARGA (PROYECCION HORIZONTAL)  
 $l_d$  = DESPLAZAMIENTO DE LA BOYA EN CARGA  
 $l_c$  = LONGITUD DE LA CADENA EN CARGA (PROYECCIÓN HORIZONTAL)  
 $l_g$  = GARREO DEL ANCLA  
 $l_i$  = IMPRECISIONES DEL FONDEO  
 $B$  = MANGA DEL BUQUE

(\*) NO SE HA CONTABILIZADO EL ESPACIO NECESARIO PARA IMPLANTAR LOS SISTEMAS DE ANCLAJE DE LAS BOYAS, NI EL POSIBLE DESPLAZAMIENTO DE LAS BOYAS EN SENTIDO CONTRARIO CUANDO NO EXISTA BUQUE EN EL AMARRADERO

(\*\*) EN LA PRACTICA, LAS POSICIONES DE FONDEO NO SON SIMETRICAS. LA 2ª QUE SE FONDEA QUEDA MÁS ALEJADA. LA SUPERFICIE DIBUJADA ES LA ENVOLVENTE MAS DEFAVORABLE.

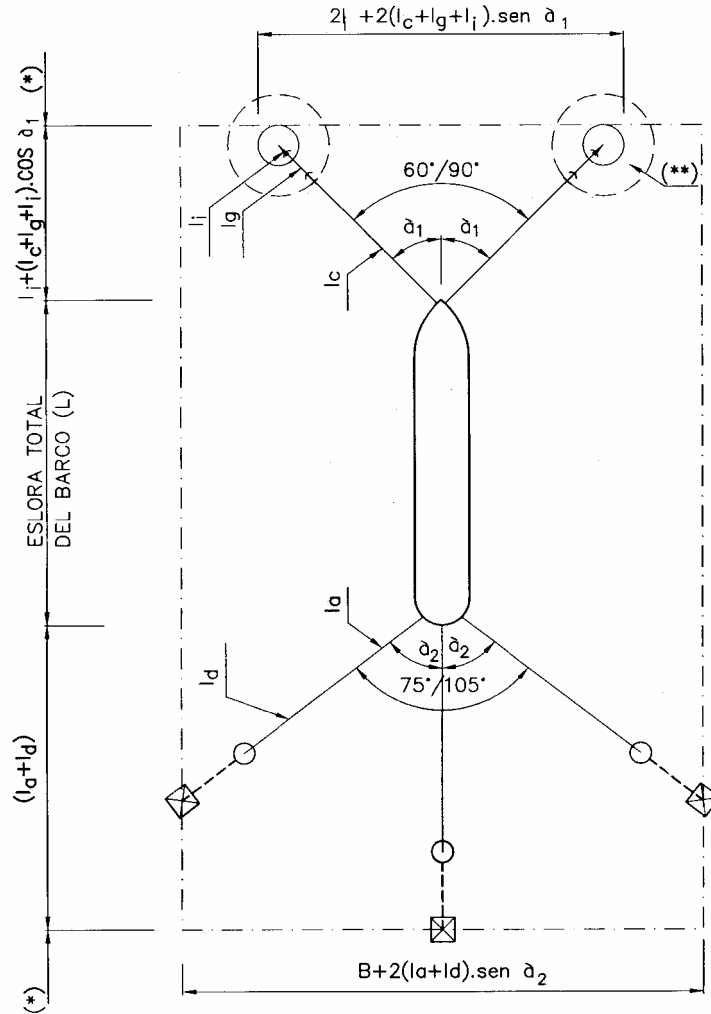
FIGURA 8.41. Superficie para el fondeo con dos anclas por proa y amarre a dos boyas por popa



$L_{a1}$   $l_{a2}$  = LONGITUD DE AMARRES EN CARGA (PROYECCION HORIZONTAL)  
 $L_{d1}$   $l_{d2}$  = DESPLAZAMIENTO DE LA BOYA EN CARGA

(\*) NO SE HA CONTABILIZADO EL ESPACIO NECESARIO PARA IMPLANTAR LOS SISTEMAS DE ANCLAJE DE LAS BOYAS, NI EL POSIBLE DESPLAZAMIENTO DE LAS BOYAS EN SENTIDO CONTRARIO CUANDO NO EXISTA BUQUE EN EL MARRADERO

FIGURA 8.42. Superficie para el amarre a dos boyas por proa y dos boyas por popa



- $l_a$  = LONGITUD DE AMARRES EN CARGA (PROYECCION HORIZONTAL)
- $l_d$  = DESPLAZAMIENTO DE LA BOYA EN CARGA
- $l_c$  = LONGITUD DE LA CADENA EN CARGA (PROYECCIÓN HORIZONTAL)
- $l_g$  = GARREO DEL ANCLA
- $l_i$  = IMPRECISIONES DEL FONDEO
- $B$  = MANGA DEL BUQUE

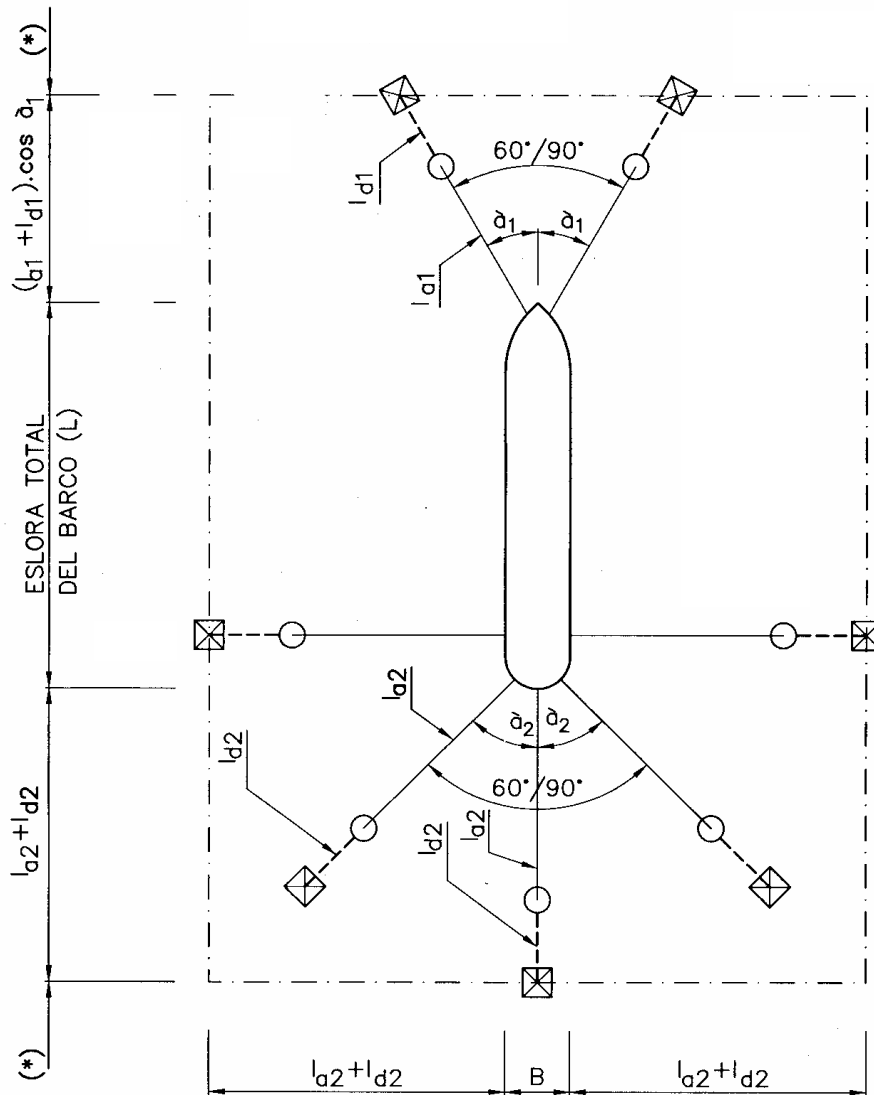
(\*) NO SE HA CONTABILIZADO EL ESPACIO NECESARIO PARA IMPLANTAR LOS SISTEMAS DE ANCLAJE DE LAS BOYAS, NI EL POSIBLE DESPLAZAMIENTO DE LAS BOYAS EN SENTIDO CONTRARIO CUANDO NO EXISTA BUQUE EN EL AMARRADERO

(\*\*) EN LA PRACTICA, LAS POSICIONES DE FONDEO NO SON SIMETRICAS. LA 2ª QUE SE FONDEA QUEDA MAS ALEJADA. LA SUPERFICIE DIBUJADA ES LA ENVOLVENTE MAS DEFAVORABLE.

FIGURA 8.43. Superficie para el fondeo con dos anclas por proa y amarre a tres boyas por popa

### 8.9. CONDICIONES COMUNES APLICABLES A VIAS DE NAVEGACION, AREAS DE MANIOBRAS, FONDEADEROS, ANTEPUERTOS, AMARRADEROS Y CAMPOS DE BOYAS

Las dimensiones de todas las áreas de flotación, recomendadas en los apartados anteriores, están determinadas con independencia de cual sea el uso que se da a las márgenes o áreas contiguas a las que se analiza. Es decir se trata de dimensiones netas para la función que en cada caso se considera.



$l_{a1}$   $l_{a2}$  = LONGITUD DE AMARRES EN CARGA (PROYECCION HORIZONTAL)  
 $l_{d1}$   $l_{d2}$  = DESPLAZAMIENTO DE LA BOYA EN CARGA

(\*) NO SE HA CONTABILIZADO EL ESPACIO NECESARIO PARA IMPLANTAR LOS SISTEMAS DE ANCLAJE DE LAS BOYAS, NI EL POSIBLE DESPLAZAMIENTO DE LAS BOYAS EN SENTIDO CONTRARIO CUANDO NO EXISTA BUQUE EN EL AMARRADERO

FIGURA 8.44. Superficie para el amarre en campo de boyas

En el supuesto de que estas zonas contiguas tengan otros usos será necesario considerar las dimensiones requeridas por ellos; así, en el supuesto de que se dispongan muelles a lo largo de una vía de navegación o en el contorno de un área de reviro, deberá considerarse la anchura requerida por los mayores buques que operen en dichos muelles, tanto en sus posiciones de amarrado, como las necesarias para las operaciones previas de atraque o desatraque que sean compatibles con el uso del área de flotación que se considere, espacio para el que es habitual considerar una manga adicional de resguardo correspondiente al buque de mayor manga que puede operar en el muelle.

## 8.10. DARSENAS Y MUELLES

### 8.10.1. FACTORES QUE AFECTAN A SU DIMENSIONAMIENTO

Las dársenas se dimensionarán tomando en consideración los siguientes condicionantes principales:

- La configuración general del puerto, la integración de la dársena en sus áreas de flotación y la integración de sus muelles y superficies terrestres en la ordenación territorial del puerto.
- La navegación de acceso y salida de los buques a la dársena, tomando en consideración los mayores buques de diseño que se prevea puedan operar en ellas.
- La longitud de muelles que se requiera en sus diferentes alineaciones, en función de los tipos y dimensiones de los buques que se prevé operen en cada una de ellas, valorándose al respecto la intercambiabilidad de puestos de atraque y la movilidad de los equipos, así como la conveniencia de disponer de alineaciones rectas y de que no se generen ángulos menores de 50° entre dos alineaciones de muelles contiguas. Asimismo se valorará la incidencia de requerimientos especiales que puedan provenir de determinado tipo de muelles (p.e. rampas o tacones para buques Ro-Ro).
- Los niveles de agitación que se produzcan para las diferentes condiciones de oleaje que puedan presentarse en el emplazamiento en función del clima marítimo existente, así como los porcentajes de excedencia de los niveles de agitación que se consideren máximos admisibles atendiendo a los usos previstos para la dársena.
- Las condiciones de resonancia o amplificación de las ondas de período largo.
- La naturaleza de los paramentos que configuren la dársena especialmente en relación con sus características de reflexión del oleaje incidente. Se tomará en cuenta a este respecto la influencia que pudiera tener el hecho de que los muelles estén ocupados, ya que representa una modificación significativa de las condiciones de reflexión de algunos paramentos.
- El régimen de corrientes existentes en la dársena, que deberá ser mínimo, recomendándose que incluso en el caso de tratarse de dársenas situadas en corrientes fluviales, no existan corrientes longitudinales en la dársena mayores de 1,5 m/s.
- Los regímenes de vientos existentes en el emplazamiento y su incidencia en el tipo de operaciones a desarrollar en la dársena. Con carácter general se recomienda que las dársenas queden configuradas de manera que los muelles principales queden orientados en la dirección que tengan la mínima presentación de viento y oleaje transversal al buque, que suele ser lo más favorable desde el punto de vista del barco ya atracado; sin embargo será necesario valorar la incidencia de los vientos transversales en los equipos de carga y descarga, que en algunos casos puede ser determinante, y que podrían conducir a una orientación de los muelles diferente de la anterior. Asimismo deberá analizarse la incidencia de vientos y oleajes en las operaciones de atraque y desatraque, por lo que la orientación de los muelles resultaría finalmente una solución de compromiso.
- Los fenómenos de sedimentación existentes en la zona y el riesgo de presentación de aterramientos. Asimismo, y en el caso que proceda, la posibilidad de presentación de hielos a la deriva.
- Las características geológicas y geotécnicas del emplazamiento y la idoneidad consecuente de los terrenos para recibir obras de infraestructura, realizar dragados o servir para la fijación de las anclas.
- Los impactos medioambientales que puedan presentarse tanto en fase de construcción como de servicio.
- Los requerimientos especiales de seguridad que puedan venir impuestos por el tráfico de determinadas mercancías, con especial atención al caso de mercancías peligrosas para las que se exigirá que los barcos que operen con ellas queden atracados con la proa orientada a la salida.
- Las previsibles ampliaciones de la dársena y del puerto en general, y las limitaciones que a este respecto pudiera representar la configuración que se adopte para la dár-



senas. Se analizará en particular la posibilidad de utilizar profundidades de agua superiores a las requeridas por los buques mayores de diseño, recomendándose que se estudie la sensibilidad del proyecto para profundidades de agua que superen en 2 m. a las requeridas.

En la práctica, la consideración de todos estos condicionantes conducirá a soluciones de compromiso en las que se consiga un equilibrio entre requerimientos que a veces resultarán contrapuestos, circunstancia que, en general, vendrá agravada por el hecho de que gran parte de las dársenas habrán estado sometidas a un proceso de evolución histórica en la que todos estos condicionantes no se habrán tomado en consideración con las perspectivas actuales.

El análisis de todos estos factores supera el alcance de esta ROM y será objeto de análisis detallado en otras Recomendaciones de este programa. La presente ROM 3.1 se limita exclusivamente al análisis de los aspectos relacionados con la navegación y las condiciones de permanencia y operación de los buques en los muelles, a que se refieren los cuatro primeros puntos de la relación anterior, tomando en consideración la incidencia que tengan con ellos otros factores (clima marítimo, tipología de las estructuras que configuren la dársena, etc.).

En el supuesto de que una dársena tenga alguna de sus alineaciones sin desarrollar, circunstancia que podría llegar al supuesto extremo de que sólo existiera una alineación (muelles de ribera, pantalanés, etc.), se seguirán los criterios aquí expuestos con las simplificaciones que se presenten en cada caso, sin dejar de contemplar que esta alineación pudiera formar parte de otra dársena o configuración más compleja en la que podrían presentarse algunos de los problemas aquí apuntados.

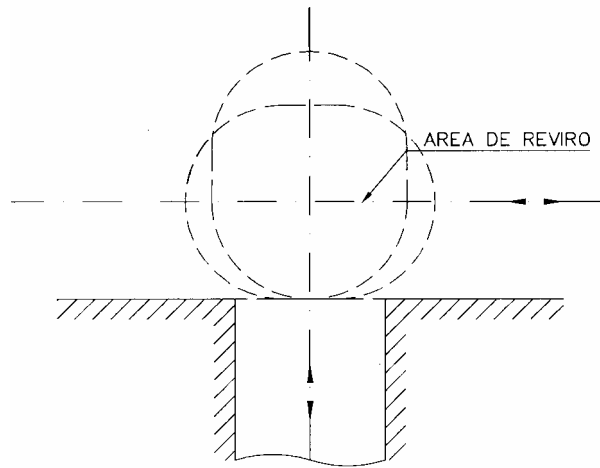
#### **8.10.2. ACCESIBILIDAD NAUTICA A LAS DARSENAS**

El acceso de los buques a las dársenas y el atraque a los muelles que se ubiquen en ellas es la etapa final de la navegación del barco (o la inicial en caso de salida) y debe por tanto analizarse con los mismos principios básicos establecidos en apartados anteriores.

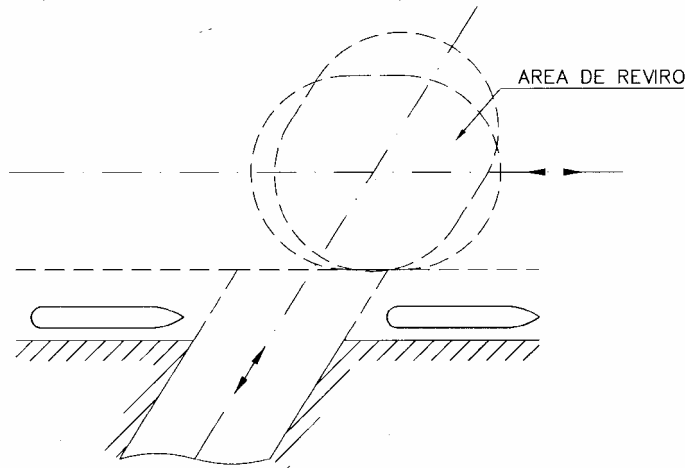
El caso de que la dársena tenga dimensiones suficientes como para permitir la arribada de los buques navegando por sus propios medios hasta estar en ella, y allí efectuar las maniobras de revido y atraque, con o sin remolcadores, no es habitual y, de presentarse, se resolvería con los criterios ya expuestos hasta el momento.

El supuesto más frecuente es aquél en el que la dársena no tiene dimensiones suficientes para efectuar maniobras de revido dentro de ella y por tanto es necesario prever un área de revido en su boca. En este caso pueden adoptarse tres soluciones:

- Si es factible, la mejor opción sería disponer un área de revido en la boca de la dársena, con su centro situado en el eje longitudinal de la misma. Las dimensiones de este área de revido resultarían de la envolvente de las áreas requeridas para la entrada y para la salida de buques y de la oblicuidad entre el eje longitudinal de la dársena y el eje de la vía de navegación por la que se accede a ella, aplicando los criterios establecidos en el apartado 8.6.4. En la figura 8.45 se representa este esquema para el supuesto de dársena ortogonal y para el caso de dársena oblicua, supuestos que están desarrollados para el caso de operación con remolcadores. Se hace notar que en el caso de que los muelles adyacentes a la embocadura de la dársena estén previstos para la operación de buques, deberán mantenerse los espacios requeridos para estos usos con sus márgenes de seguridad correspondientes.
- Si no existiese espacio físico para desarrollar el área de revido anteriormente definida, podrían analizarse dos posibilidades:
  - Situar el centro del área de revido desplazado del eje longitudinal de la dársena. En este caso la trayectoria del buque en su acceso a la dársena deberá seguir un tramo curvo, que, a la arribada o a la salida, tendrá que ser recorrido por el buque navegando en marcha atrás. Dado que esta maniobra es compleja requerirá habitualmente ayuda de remolcadores, por lo que se establecen las siguientes limitaciones para las condiciones geométricas de este tramo curvo de la trayectoria (Ver figura 8.46):
    - Radio (R):  $\geq 2,5 L$  (Eslora)
    - Longitud del tramo curvo (l):  $\leq 6 L$



DARSENA ORTOGONAL  
(SIN USO DE MUELLES ADYACENTES)



DARSENA OBLICUA  
(CON USO DE MUELLES ADYACENTES)

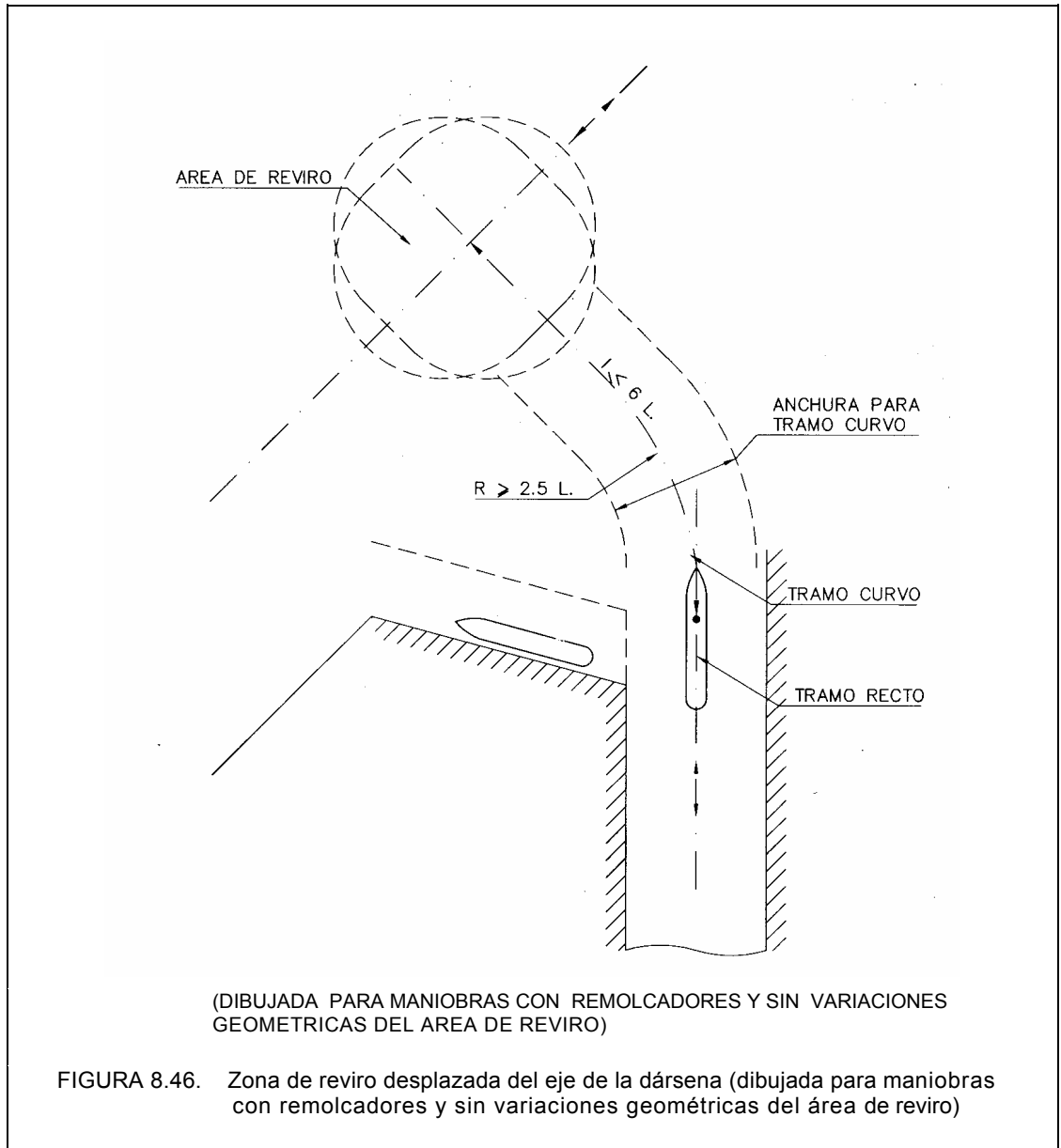
(DIBUJADA PARA MANIOBRAS CON REMOLCADORES Y SIN VARIACIONES GEOMETRICAS DEL AREA DE REVIRO)

FIGURA 8.45. Zona de reviro en la boca de la dársena

— Anchura de la vía de navegación en el tramo curvo:

Determinada para las condiciones de trazo de la vía y de la navegabilidad del buque (que se supondrá mala dado que la navegación se efectuará marcha atrás).

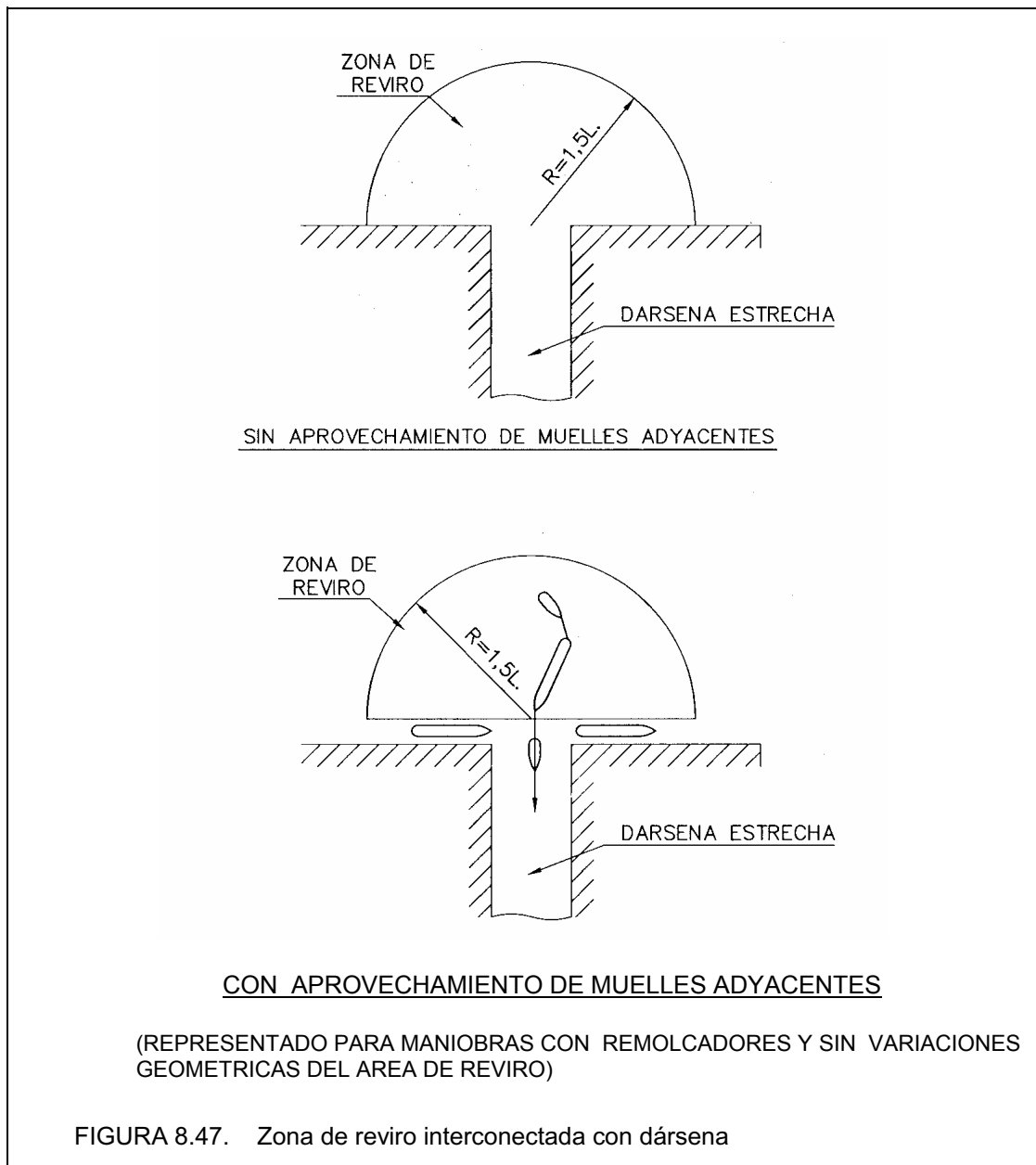
- Utilizar las propias aguas de la dársena para desarrollar parte de las maniobras de reviro, tal como se esquematiza en la figura 8.47. Esta operación también exigirá la utilización de remolcadores y requerirá una superficie exenta para maniobras que permita inscribir en ella una semicircunferencia de radio  $1,5 \cdot L$  (Eslora). Estas dimensiones podrían reducirse si se utilizase otros elementos físicos para facilitar el reviro, tal como pudiera ser que el giro del buque se efectuase apoyado sobre una estructura de atraque especialmente diseñado a estos efectos, o con algún punto fijado mediante amarras, sin embargo estos supuestos no son habituales y su concreción excede los límites de esta Recomendación.



En el supuesto de que una dársena no tuviera configuradas todas sus alineaciones, podrían contemplarse otras maniobras de acceso y salida de los buques a los muelles que se ubiquen en ellas, que se resolverán con los criterios generales expuestos en los apartados correspondientes. En el supuesto de que el emplazamiento y configuración de estos muelles se hubiese determinado atendiendo a determinadas maniobras de acceso y salida de buques, se establecerán las oportunas reservas de superficie de flotación para evitar que estos espacios sean ocupados por e desarrollo de muelles e infraestructuras futuros.

### 8.10.3 DIMENSIONES DE LAS DARSENAS

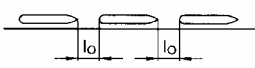
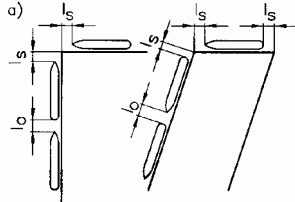
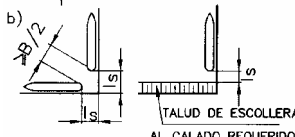
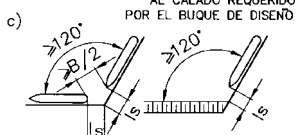
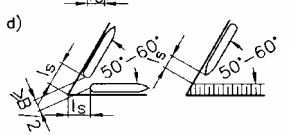
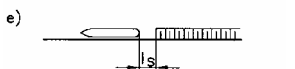
Las dimensiones mínimas de las dársenas vendrán definidas por la longitud de sus muelles y por la anchura del área de flotación, que se determinarán por el método determinístico, con los criterios que se recogen en los apartados a) y b) siguientes, a reservas de las recomendaciones específicas que se establecen en el apartado 8.10.4 para dársenas de embarcaciones deportivas. El dimensionamiento por el método semiprobabilístico podría ser abordable si se dispusiera de un análisis estadístico suficientemente amplio de todas las maniobras que pudieran presentarse, en la actualidad este recurso se utiliza fundamentalmente para el estudio de las posibilidades de operación de buques concretos en dársenas y muelles preexistentes.



Todas las dimensiones que se recogen en este artículo precisan la utilización de remolcadores, lo que no impide que las operaciones puedan ser realizadas sin su ayuda en determinadas condiciones de clima marítimo y por buques dotados de medios adecuados (hélices transversales, doble hélice, etc.), o bien por buques menores que pueden maniobrar con seguridad en los espacios disponibles sin ayuda de remolcadores. En cualquier caso se mantendrán como mínimo las dimensiones que aquí se recomiendan, a no ser que las dársenas y muelles se proyecten para uso exclusivo de buques especiales dotados de mejores condiciones de maniobrabilidad, en cuyo caso deberá quedar recogida esta condición en las Normas de Operación correspondientes; el dimensionamiento optimizado que pueda obtenerse en estos supuestos se recomienda que se efectúe mediante estudios de simulador.

a) LONGITUDES DE MUELLES

Las longitudes de los muelles se determinarán en función de las dimensiones máximas de los buques que se prevé operarán en los diferentes puestos de atraque, de la configuración de la dársena y de la tipología estructural de los muelles contiguos a los atraques, ya sean de paramento vertical, tengan escolleras u otras piezas colocadas en talud. Para determinar estas longitudes se utilizarán los criterios recogidos en la fig. 8.48 to-

ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL MUELLE	VALORES DE LAS VARIABLES EN FUNCION DE LA ESlORA TOTAL (L en m.) DEL BARCO MAYOR QUE AFECTA A LA DETERMINACION DE LA DIMENSION ANALIZADA				
	MAYOR DE 300	300-201	200-151	150-100	MEJOR DE 100 (1)
<p>1.-DISTANCIA "l<sub>0</sub>" ENTRE BARCOS ATRACADOS EN LA MISMA ALINEACION (m.)</p>  <p>2.-SEPARACION "l<sub>s</sub>" ENTRE BARCO Y CAMBIOS DE ALINEACION O DE TIPOLOGIA ESTRUCTURAL (m.)</p> <p>a)</p>  <p>b)</p>  <p>c)</p>  <p>d)</p>  <p>e)</p> 	30	25	20	15	10
	30	25	20	10	5
	45/40	30	25	20	15
	30/25	20	15	15	10
	-/60	50	40	30	20
	20	15	15	10	10

(1) PARA BUQUES CON ESlORA TOTAL MENOR DE 12m. SE TOMARA COMO VALOR DE "l<sub>0</sub>" EL 20% DE "L", REAJUSTANDOSE LOS RESTANES VALORES PROPORCIONALMENTE (B) MANGA DEL BARCO MAYOR QUE AFECTE A LA DETERMINACION DE LA DIMENSION ANALIZADA.

FIGURA 8.48. Resguardos en línea de atraque

mando como longitud del barco la Eslora total (L) del Buque de Proyecto que afecte a la determinación de la dimensión analizada. Estas dimensiones están determinadas suponiendo que las corrientes longitudinales existentes en la dársena tienen una velocidad no mayor de 1.5 m/s (para velocidades mayores se recomienda efectuar un estudio con simulador para analizar las maniobras de atraque y desatraque y los requerimientos de espacio correspondientes); por otra parte, las dimensiones de la Tabla 8.48 están basadas en el supuesto habitual de que todos los buques atracados puedan dar largos por proa y popa, por lo que podrían ser menores si se modifica el esquema de amarre.

En el supuesto de que el muelle esté definido por su calado y no por su uso, o cuando se prevea que este uso puede modificarse en posteriores fases de utilización del muelle,

se tomará la Eslora total del buque máximo de cualquier tipo compatible con el calado disponible.

En el caso de que la dársena esté sometida a condiciones climáticas muy expuestas podría ser necesario prever mayores longitudes de muelles para aumentar la separación entre buques o para permitir la utilización de amarras de proa y popa de mayor longitud, circunstancia que también podría presentarse en el caso de pantalanes situados fuera de aguas abrigadas; en estos casos la longitud de los muelles y la configuración idónea de los mismos deberá determinarse atendiendo no sólo a los condicionantes de las Areas de Flotación, sino también al comportamiento del buque una vez atracado y amarrado.

Por otra parte y en el caso de preverse la utilización de tacones para el desembarco de las rampas de los buques del tipo Ro-Ro, deberá considerarse los requerimientos de espacio adicional correspondientes.

#### b) ANCHURA DE DARSENAS

La anchura de las dársenas se determinará tomando la dimensión mayor que resulta de considerar los supuestos siguientes:

- 1) En el caso de que la alineación transversal de cierre de la dársena se utilice como muelle para atraque de buques paralelos a ella, esta alineación, (y la anchura que en consecuencia resulte para la dársena según la oblicuidad de la misma) tendrá como mínimo la longitud requerida por los muelles determinada con los criterios establecidos en el apartado a) anterior. Ver fig. 8.49.
- 2) En el caso de que alguna de las alineaciones longitudinales de la dársena permita la implantación de un número de puestos de atraque superior a 4, la dársena deberá permitir la implantación de un área de maniobras de reviro de buques, dimensionada con los criterios que se definen en el apartado 8.6.4; este área de reviro podría situarse al fondo de la dársena, o en zonas intermedias que no dejen fondos de dársena con más de 4 puestos de atraque en alguna de sus alineaciones longitudinales, o bien previendo que toda la dársena tenga anchura suficiente para que el reviro de buques pueda efectuarse en cualquier posición; en cualquier solución que se adopte deberá tomarse en consideración los espacios necesarios para los buques atracados y los resguardos que se establecen al respecto. Asimismo, y en el caso de que la densidad de tráfico sea mayor de 1 buque/hora se recomienda que la vía de navegación por el interior de la dársena esté dimensionada para permitir el cruzamiento de buques, con sus correspondientes resguardos a los buques atracados.  
Estas recomendaciones se seguirán para las dársenas de embarcaciones pesqueras y deportivas con independencia del número de puestos de atraque que existan en cada alineación.
- 3) En el caso de que alguna de las alineaciones longitudinales de la dársena permita la implantación de 3 ó 4 puestos de atraque, y no se opte por desarrollar la solución descrita en el apartado 2) anterior, la anchura de la dársena deberá permitir la navegación de un buque en marcha atrás (suponiendo por tanto maniobrabilidad mala de los barcos) tomando en consideración los espacios necesarios para los buques atracados y los resguardos que se establecen al respecto.
- 4) En el caso de dársenas comerciales con muelles en ambas bandas, en las que las dimensiones longitudinales de la dársena permitan la implantación de 2 puestos de atraque por muelle en sentido longitudinal y no se permita el abarloadamiento de buques en los puestos de atraque (Ver fig. 8.50), la anchura mínima de la dársena será la mayor de los valores siguientes, que están determinados en el supuesto de que no se permita la maniobra de entrada o salida de dos o más buques simultáneamente.

$$B_{nd} = 3 \cdot B_{max} + L_r + 20 \text{ m}$$

$$B_{nd} = 5 \cdot B_{max} + L_r$$

siendo:

$B_{nd}$  = Anchura nominal de la dársena, medida entre planos de caras exteriores de defensas de los muelles longitudinales.

$B_{max}$  = Manga máxima del mayor Buque de Proyecto que pueda operar en cualquiera de los muelles de la dársena.

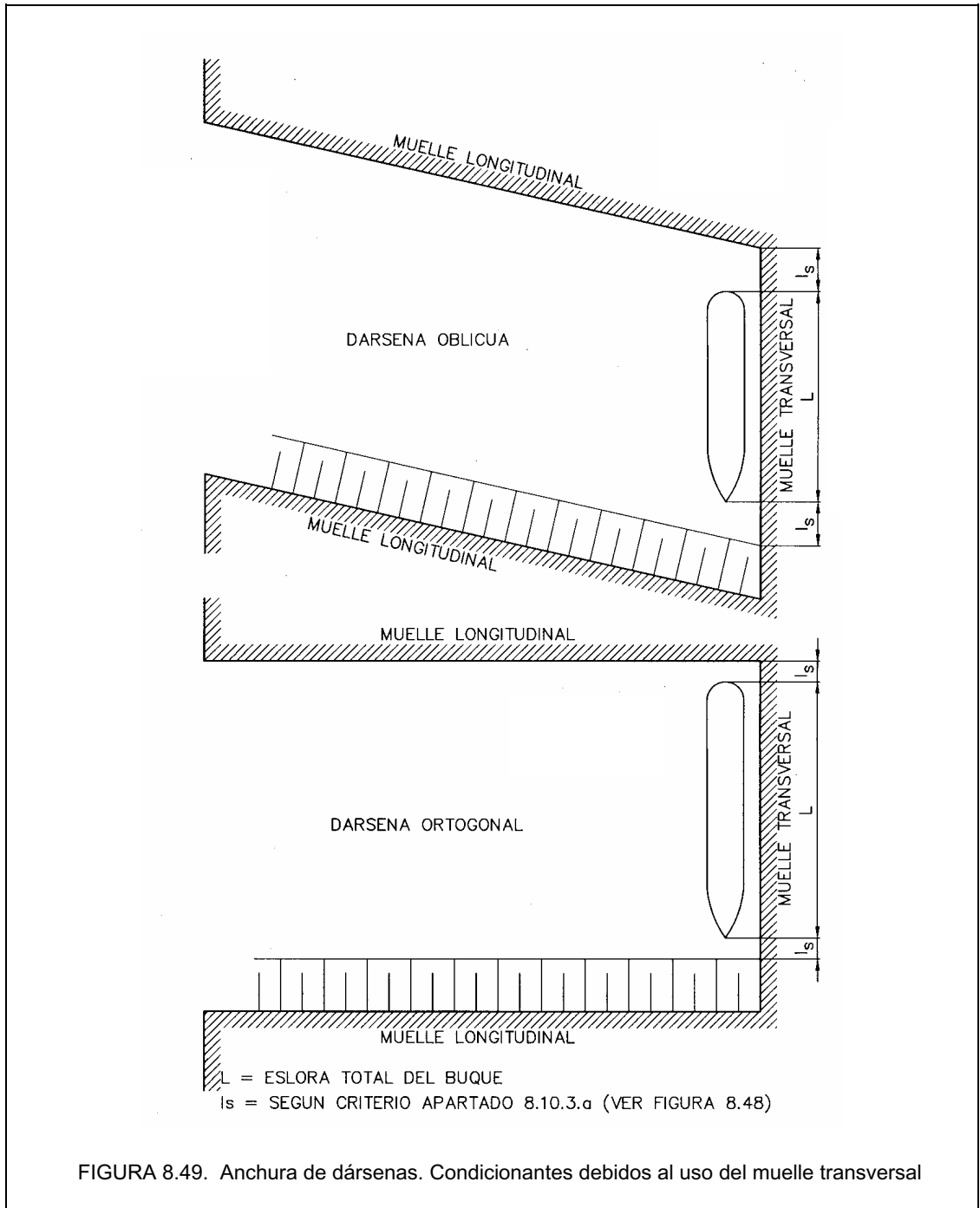
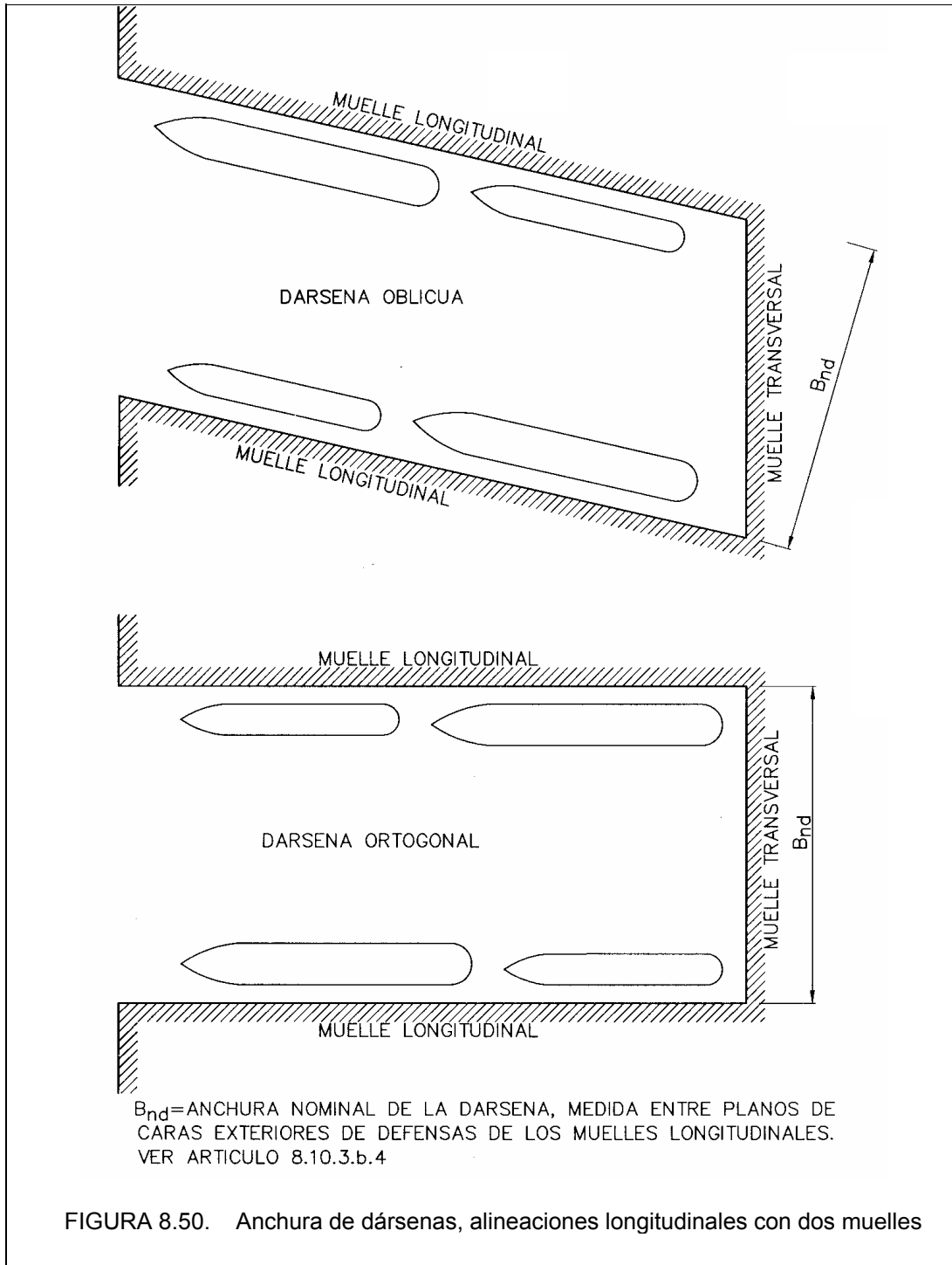


FIGURA 8.49. Anchura de dársenas. Condicionantes debidos al uso del muelle transversal

$L_r$  = Suma de la Eslora total del remolcador y de la proyección horizontal del cable del remolque, correspondiente al remolcador necesario para los mayores Buques de Proyecto que puedan operar en cualquiera de los puestos de atraque de la dársena.

En caso de que no se disponga de esta información, podrá determinarse el valor de  $L_r$  en función del desplazamiento del buque, según los criterios siguientes:

Desplazamiento del buque (t)	$L_r$ (m)
Hasta 5.000	45
Mayor de 5.000 y hasta 10.000	46-50
Mayor de 10.000 y hasta 30.000	51-60
Mayor de 30.000 y hasta 60.000	61-70
Mayor de 60.000	71-85



No podrá prescindirse del término « $L_r$ » aunque la maniobra se realice excepcionalmente sin remolcadores. Se recuerda que estos criterios de dimensionamiento de dársenas están basados en la utilización de remolcadores y que para los casos en que se prevea que las operaciones van a efectuarse siempre sin su ayuda deberá recurrirse para la optimización de espacios a estudios en simulador (salvo para embarcaciones pesqueras y deportivas en las que deberá seguirse las prescripciones del apartado 2 de este artículo).

En el supuesto de que la dársena sólo disponga de muelle en una de las bandas, las dimensiones « $B_{nd}$ » anteriores podrán disminuirse en una manga « $B_{max}$ ».

- 5) En el caso de dársenas comerciales con muelles en ambas bandas, en las que las alineaciones longitudinales de la dársena permitan la implantación de un solo puesto de atraque por muelle en sentido longitudinal y no se permita el abarloamiento de los



buques en los frentes de atraque (Ver fig. 8.51), la anchura mínima de la dársena será la mayor de los valores siguientes:

$$B_{nd} = 2 \cdot B_{max} + L_r + 20 \text{ m}$$

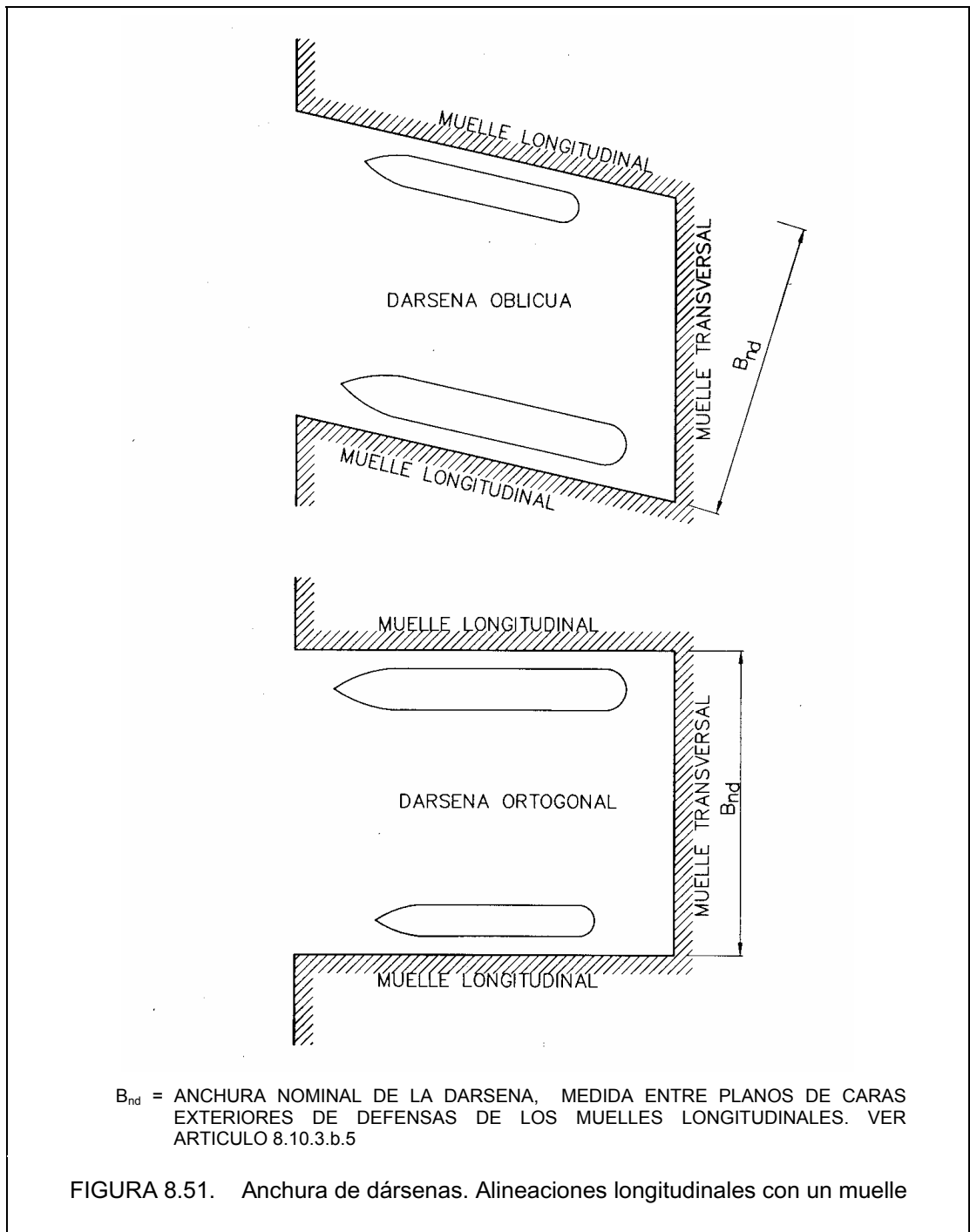
$$B_{nd} = 3 \cdot B_{max} + L_r$$

en donde los símbolos tienen el mismo significado indicado en el párrafo anterior.

En el supuesto de que la dársena sólo disponga de muelle en una de las bandas, las dimensiones « $B_n$ » anteriores podrán disminuirse en una manga « $B_{max}$ ».

- 6) En el caso de que se prevea el amarre abarloado de buques en alguno de los muelles longitudinales (Ver figura 8.52), se incrementarán las anchuras anteriormente definidas en la cantidad

$$B_{ndp} = n_b \cdot (B_{max} + 2)$$



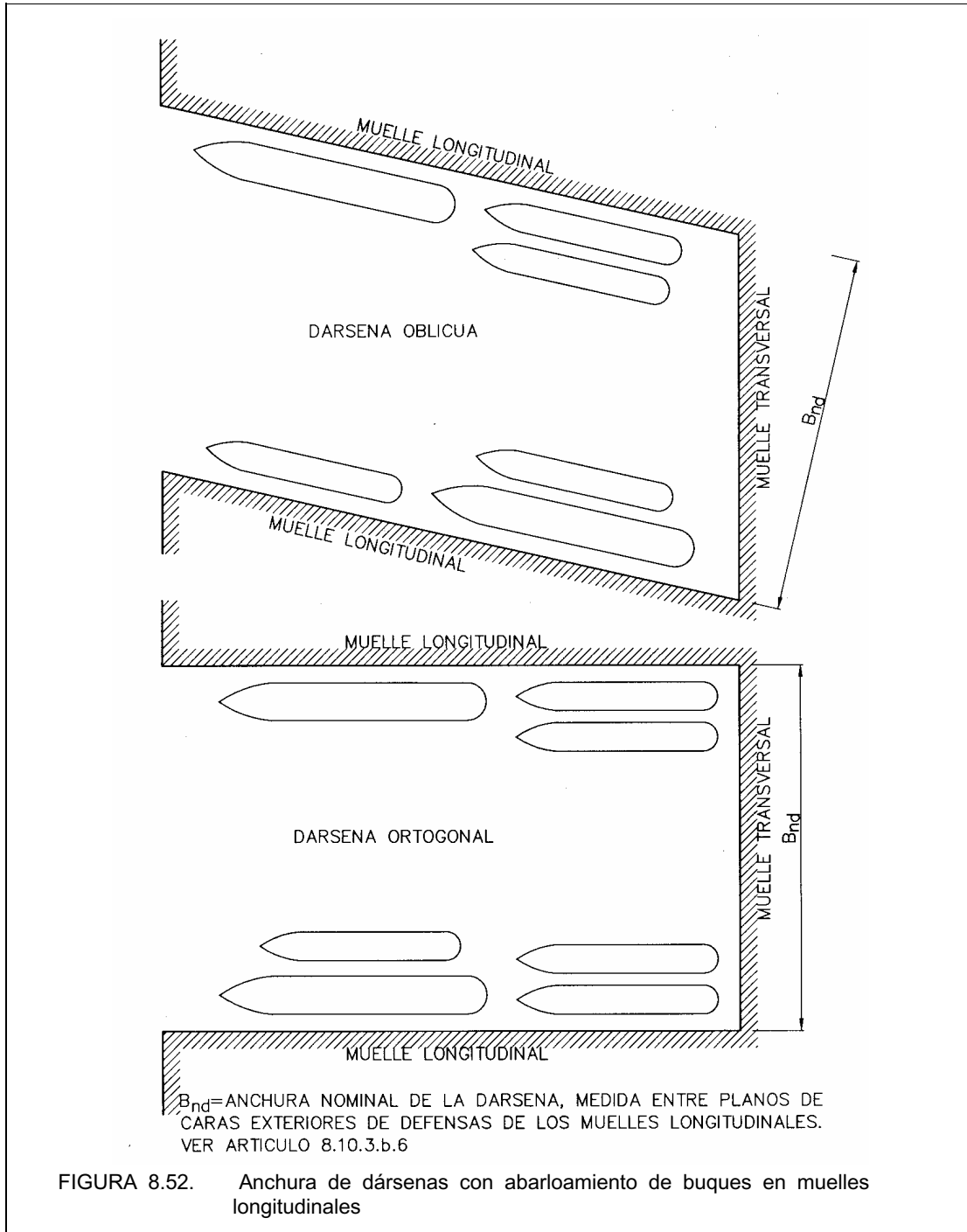


FIGURA 8.52. Anchura de dársenas con abarloomiento de buques en muelles longitudinales

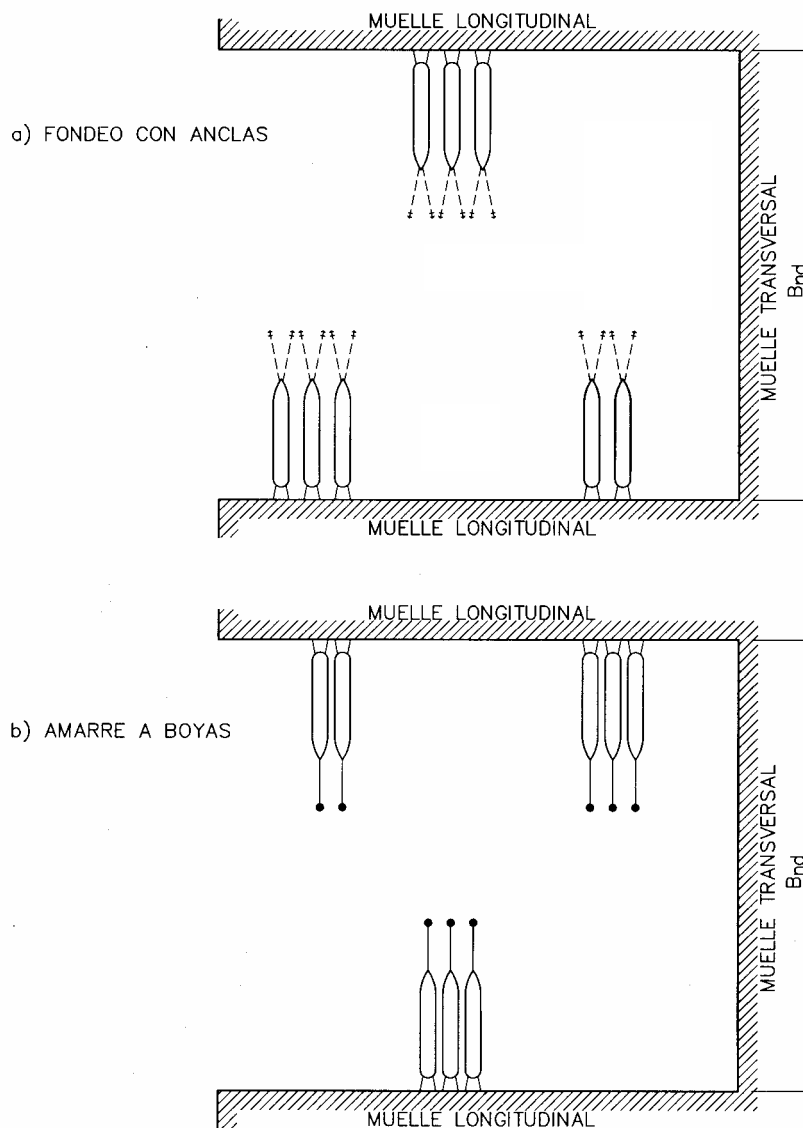
siendo:

$B_{ndp}$  = Incremento de la anchura nominal de la dársena.

$n_b$  = Número máximo de barcos abarloomados medidos en cualquier alineación transversal a la dársena, sin contar los que están atracados directamente al muelle. En el caso de que se abarloomen barcos en los muelles de ambas alineaciones longitudinales « $n$ » será la suma de los abarloomados en ambas bandas.

2 = Espacio en metros requerido para la implantación de defensas entre buques abarloomados.

- 7) En el caso de que se prevea el atraque de buques de punta (o a la mediterránea) en las dos alineaciones longitudinales de la dársena (ver fig. 8.53), la anchura de la dársena será la mayor de las obtenidas con las expresiones siguientes:



$B_{nd}$  = ANCHURA NOMINAL DE LA DARSENA, MEDIDA ENTRE PLANOS DE CARAS EXTERIORES DE DEFENSAS DE LOS MUELLES LONGITUDINALES. VER ARTICULO 8.10.3.b.7

FIGURA 8.53. Anchura de dársenas con atraque de buques de punta o a la mediterránea en muelle longitudinal

$$B_{nd} = 2L + K_{mr} \cdot L$$

$$B_{nd} = 2L + 2(l_a + l_d) + K_{mf} \cdot L \quad (\text{para amarre a boyas})$$

$$B_{nd} = 2L + 2 \cdot \zeta \cdot h + K_{mf} \cdot L \quad (\text{para fondeo con anclas})$$

siendo:

$B_{nd}$  = Anchura nominal de la dársena medida entre planos de caras exteriores de defensas de los muelles longitudinales.

$L$  = Eslora total del mayor buque de diseño que puede operar en cualquiera de los muelles de la dársena.

$K_{mr}$  = Factor que cuantifica el área de maniobra de buques entre las dos alineaciones de buques de una y otra banda. Este factor tomará como mínimo el valor

1,75 para dársenas de embarcaciones menores ( $L \leq 12$  m) y el valor 2,00 para el resto de las embarcaciones ( $L \geq 12$  m), pudiendo ajustarse con mayor precisión si se analizan los requerimientos del área de reviro con los criterios recogidos en el apartado 8.6.4.

- $K_{mf}$  = Factor que cuantifica el área de maniobra de buques entre las dos alineaciones de boyas o de anclas fondeadas en una y otra banda. Este factor tomará como mínimo el valor 1,50 para dársenas de embarcaciones menores ( $L \leq 12$  m) y el valor 1,60 para el resto de las embarcaciones ( $L \geq 12$  m), pudiendo ajustarse con mayor precisión si se analizan los requerimientos del área de reviro con los criterios recogidos en el apartado 8.6.4.
- $l_a$  = Longitud de amarras para fijación de la proa del buque, determinada con los criterios que se especifican en el apartado 8.8.
- $l_d$  = Borneo de las boyas de amarre sometidas a las cargas máximas de diseño, determinado con los criterios que se especifican en el apartado 8.8.
- $z$  = Factor que cuantifica la distancia desde el punto de fondeo del ancla a la proa del buque, en función de la profundidad de agua «h» existente en la dársena, determinada con los criterios que se especifican en el apartado 8.7.
- $h$  = Profundidad de agua existente en la dársena. Se adoptará el más desfavorable dentro de los posibles.

En el supuesto de que este tipo de atraques se desarrolle en una sola de las alineaciones longitudinales o que se combinen los usos en ambas alineaciones, se generalizan los criterios aquí expuestos a las características de cada caso concreto.

- 8) En el caso de que se prevea el atraque de buque a la mediterránea en la alineación transversal de cierre de la dársena (ver fig. 8.54), deberá tomarse en consideración el espacio longitudinal necesario para implantar este tipo de amarres según el sistema de fijación de la proa (boyas o anclas) que se prevea.
- 9) En el caso de que se prevea la implantación de elementos flotantes (diques, rampas, etc.), que puedan necesitar fondeo de anclas o amarre a boyas, se tomará en consideración la necesidad de espacio para estas instalaciones.

#### **8.10.4. RECOMENDACIONES ESPECIFICAS PARA DARSENAS DE EMBARCACIONES DEPORTIVAS**

En el caso habitual de que las dársenas para embarcaciones deportivas incorporen pantalanés, se seguirán las recomendaciones siguientes que prevén espacios para el amarre y las maniobras de atraque y salida de los barcos. Ver fig. 8.55.

##### **a) PANTALANES PRINCIPALES**

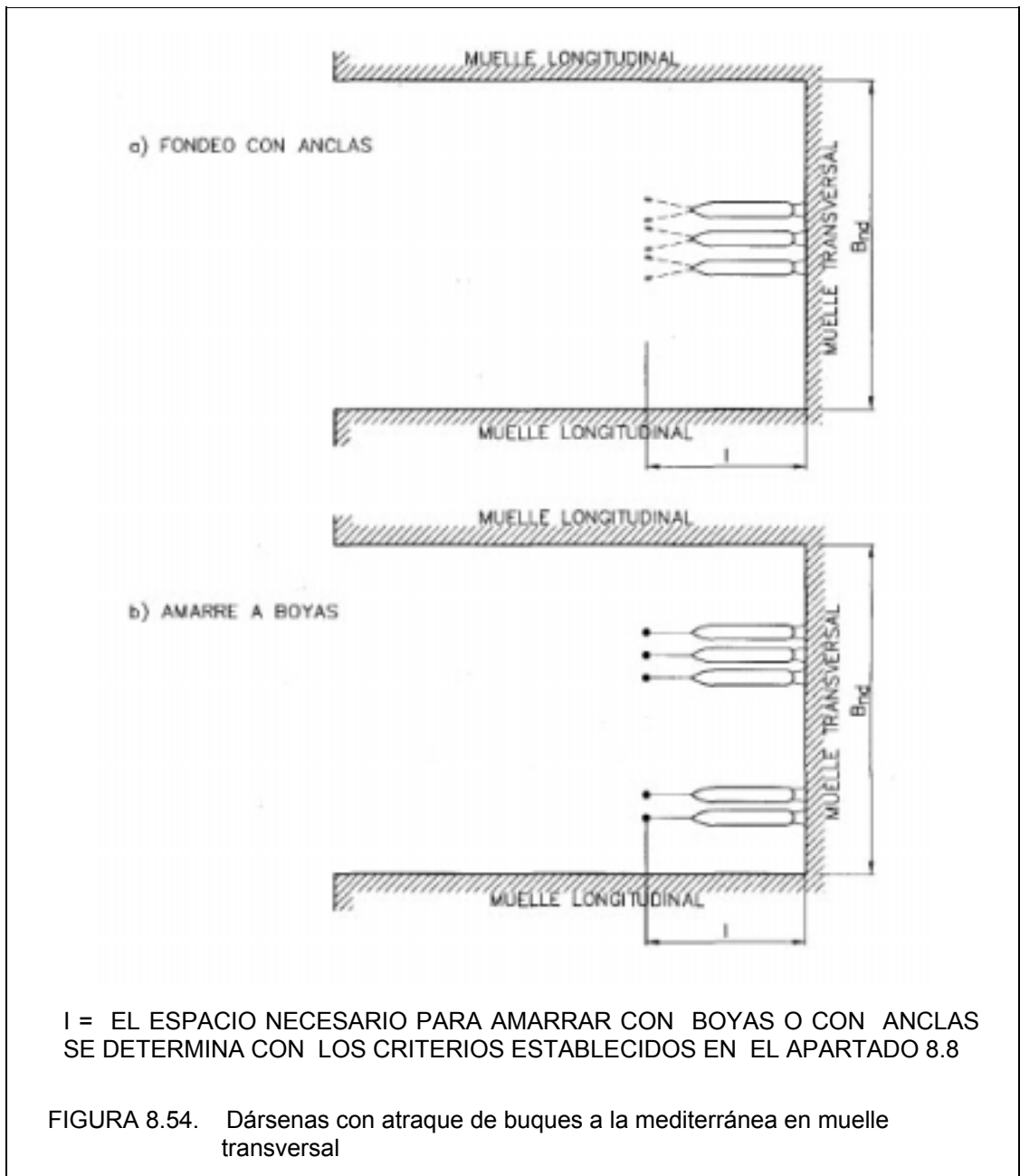
###### **— Separación entre pantalanés**

La separación mínima entre pantalanés principales, medida entre extremos de los pantalanés de atraque (o de los barcos amarrados a ellas si es más desfavorable), es decir la anchura del área de navegación y maniobras, será, como mínimo, de 1,75  $L$  para buques de diseño con una eslora total ( $L$ ) no mayor de 12,00 m y de 2,00  $L$  para buques de diseño con una eslora total ( $L$ ) superior a los 12,00 m.

En el caso de que se prevean derivas importantes de los buques debidos a las condiciones climáticas existentes se incrementarán estos espacios según los criterios establecidos en el apartado 8.6.4.

###### **— Anchura de los pantalanés**

La anchura recomendada de los pantalanés principales, para el supuesto de que no admitan tráfico de vehículos, estará comprendida entre 1,20 m. y 2,00 m en función del tamaño de los buques y del número de pantalanés de atraque que se dispongan en cada pantalán principal; si se prevé algún tipo de tráfico para vehículos ligeros se adoptará una anchura adecuada a las características de los mismos, con un valor mínimo de 2,50 m.



b) PANTALANES SECUNDARIOS DE ATRAQUE

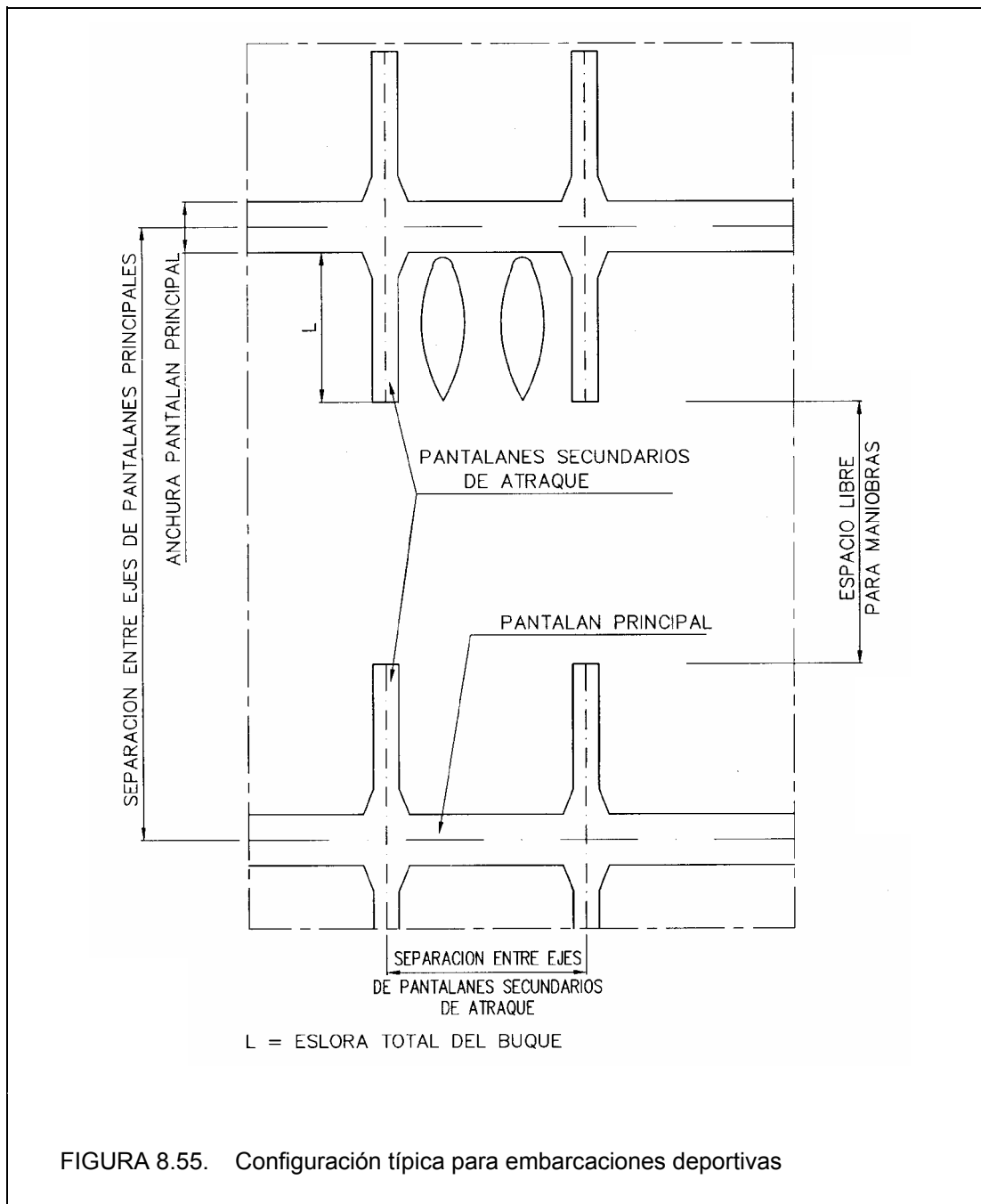
— Separación entre pantalanés

- Atraques simples

La separación entre ejes de los pantalanés será, como mínimo, igual a la suma de la manga máxima del barco de diseño, más un resguardo de 0,30 - 0,50 m. a cada lado de la embarcación, más la anchura del pantalán.

- Atraques dobles

La separación entre ejes de los pantalanés será, como mínimo, igual a la suma de dos veces la manga máxima del barco de diseño, más un resguardo de 0,30 - 0,50 m. con respecto a cada uno de los muelles, más un resguardo de 1,00 m. entre ambos barcos.



Estas separaciones están determinadas suponiendo que las embarcaciones tienen una eslora máxima de 12 m; en el supuesto de que se prevean embarcaciones mayores deberán incrementarse los resguardos en función de las maniobras de atraque y salida que se prevea realizar según sea la configuración del puerto.

— Longitud de pantalanes

La longitud de los pantalanes de atraque será igual a la eslora máxima ( $L$ ) del buque de diseño. Excepcionalmente podrían admitirse longitudes menores (70 ó 80% de la  $L$ ) si se desarrolla un sistema adecuado de amarre de barcos, que no afecta a las dimensiones del Área de Navegación y Maniobras de barcos definidos en el apartado a) anterior.

— Anchura de los pantalanes

La anchura recomendada de los pantalanes de atraque estará comprendida entre 0,80 y 1,50 m en función del tamaño de los barcos.

### 8.10.5. CONDICIONES LIMITES DE OPERACIÓN

Las condiciones límites de operación que se adoptan habitualmente para la navegación y maniobras (parada, reviro) de buques, cuando se efectúen dentro de las dársenas, son las mismas que las que se establecen para estas maniobras cuando se desarrollan en otras áreas de flotación, con independencia de que la situación más protegida de las dársenas ocasionará normalmente un porcentaje menor de inoperatividad de estas áreas frente a estas condiciones climáticas adversas.

Como condiciones específicas de los muelles, es necesario contemplar tres supuestos:

- Atraque de los buques.
- Paralización de las operaciones de carga y descarga.
- Permanencia de los buques en los muelles.

Las condiciones límites que se establezcan para estos tres supuestos dependen de otros factores además del propio barco; así, el atraque de los buques vendrá condicionado por los remolcadores disponibles y los sistemas de defensa de los muelles; la paralización de las operaciones de carga y descarga dependerá fundamentalmente de las características de los equipos que se utilicen para esta función; y la permanencia de los buques en los muelles de los criterios de diseño de las estructuras, de la disponibilidad de medios de remolque para poder sacar los buques de los puestos de atraque en estas condiciones y de la posibilidad de que el buque pueda navegar controladamente hacia otros muelles, fondeaderos o áreas de navegación exterior. En algunos casos particulares intervendrán otros factores, por ejemplo, los límites de habitabilidad de una embarcación deportiva sometida a la acción del oleaje.

Las condiciones climáticas límites de operación que se recogen en la Tabla 8.1 son las que vienen siendo utilizadas habitualmente para estas maniobras, pero, obviamente podrán utilizarse otras diferentes en la medida que se valoren los porcentajes de inactividad resultante para diferentes supuestos en función de las inversiones que sea necesario realizar para garantizar la operatividad en las condiciones límite que se adopten. En el supuesto de que se realicen estudios de mayor detalle deberán considerarse los movimientos aceptables en los buques en función de las características específicas de los equipos utilizados en las diferentes operaciones.

<b>TABLA 8.1. CONDICIONES LIMITES DE OPERACION DE BUQUES EN MUELLES Y PANTALANES</b>			
	Velocidad absoluta del viento $V_{10.1 \text{ min}}$	Velocidad absoluta de la corriente $V_{c.1 \text{ min}}$	Altura de ola $H_s$
1. <i>Atraque de buques</i>			
• Acciones en sentido longitudinal al muelle	17.0 m/s	1.0 m/s	2.0 m
• Acciones en sentido transversal al muelle	10.0 m/s	0.1 m/s	1.5 m
2. <i>Paralización operaciones carga y descarga (para equipos convencionales)</i>			
• Acciones en sentido longitudinal al muelle			
— Petroleros			
< 30.000 TPM	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
30.000-200.000 TPM	22 m/s	1.5 m/s	2.0 m
> 200.000 TPM	22 m/s	1.5 m/s	2.5 m
— Graneleros			
Cargando	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
Descargando	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m

<b>TABLA 8.1. (Continuación)</b>			
	<b>Velocidad absoluta del viento <math>V_{10.1 \text{ min}}</math></b>	<b>Velocidad absoluta de la corriente <math>V_{c.1 \text{ min}}</math></b>	<b>Altura de ola <math>H_s</math></b>
— Transportadores de Gases Licuados < 60.000 m <sup>3</sup> > 60.000 m <sup>3</sup>	22 m/s 22 m/s	1.5 m/s 1.5 m/s	1.2 m/s 1.5 m/s
— Mercantes de carga general, Pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
— Portacontenedores, Ro-Ros y Ferries	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
— Transatlánticos y Cruceros (1)	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
— Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	1.5 m/s	0.6 m
• Acciones en sentido transversal al muelle			
— Petroleros			
< 30.000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.0 m
30.000-200.000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.2 m
> 200.000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.5 m
— Graneleros			
Cargando	22 m/s	0.7 m/s	1.0 m
Descargando	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m
— Transportadores de Gases Licuados < 60.000 m <sup>3</sup> > 60.000 m <sup>3</sup>	16 m/s 16 m/s	0.5 m/s 0.5 m/s	0.8 m 1.0 m
— Mercantes de carga general, Pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m
— Portacontenedores, Ro-Ros y Ferries	22 m/s	0.5 m/s	0.3 m
— Transatlánticos y Cruceros (1)	22 m/s	0.5 m/s	0.3 m
— Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	0.7 m/s	0.4 m
<b>3. Permanencia de buques en muelle</b>			
— Petroleros y Transportadores de Gases Licuados			
• Acciones en sentido longitudinal al muelle	30 m/s	2.0 m/s	3.0 m
• Acciones en sentido transversal al muelle	25 m/s	1.0 m/s	2.0 m
— Transatlánticos y Cruceros (2)			
• Acciones en sentido longitudinal al muelle	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
• Acciones en sentido transversal al muelle	22 m/s	0.7 m/s	0.7 m
— Embarcaciones deportivas (2)	22 m/s	1.5 m/s	0.4 m
• Acciones en sentido longitudinal al muelle	22 m/s	1.5 m/s	0.4 m
• Acciones en sentido transversal al muelle	22 m/s	0.7 m/s	0.2 m
— Otro tipo de buques	Limitaciones impuestas por las cargas de diseño de los muelles		
<b>NOTAS:</b>			
$V_{10.1 \text{ min}}$	= Velocidad media del viento, correspondiente a 10 m de altura y ráfaga de 1 minuto.		
$V_{c.1 \text{ min}}$	= Velocidad media de la corriente correspondiente a una profundidad del 50% del calado del buque, en un intervalo de 1 minuto.		
$H_s$	= Altura de la ola significativa del oleaje (para estudios de mayor precisión se considerará la influencia del periodo).		
Longitudinal	= Se entenderá que el viento, la corriente o el oleaje actúan longitudinalmente, cuando su dirección está comprendida en el sector de $\pm 45^\circ$ con el eje longitudinal del buque.		
Transversal	= Se entenderá que el viento, la corriente o el oleaje actúa longitudinalmente cuando su dirección está comprendida en el sector de $\pm 45^\circ$ con el eje transversal del buque.		
(1)	= Las condiciones se refieren al embarque y desembarque del pasaje.		
(2)	= Las condiciones se refieren a los límites para mantener una habitabilidad aceptable con el pasaje a bordo		



### 8.10.6. BALIZAMIENTO DE LAS DARSENAS Y SEÑALIZACION DE MUELLES

El balizamiento de las dársenas y muelles deberá ir dirigido fundamentalmente a señalar los aspectos siguientes:

- La definición de la boca de acceso a la dársena y la definición de los extremos más avanzados de las infraestructuras.
- La identificación de los puestos de atraque.
- Las enfilaciones necesarias para las rutas de acceso y salida de los buques de la dársena, cuando haya que efectuar maniobras en una dirección prefijada.
- La delimitación de las áreas disponibles para la navegación, cuando no queden definidas por la propia configuración de la dársena (p.e. falta una alineación atracable, o alguna de ellas está construida en talud y es necesario marcar la cota a la que se dispone de la profundidad del agua nominal, etc.).
- La delimitación de las zonas exteriores de reviro de buques, cuando no queden inmersas en otras áreas más amplias que estén convenientemente balizadas.

## 8.11. INSTALACIONES ESPECIALES

### 8.11.1. ESCLUSAS

Las esclusas son elementos de regulación de los niveles de agua que se utilizan en vías de navegación, puertos, dársenas y otras áreas de flotación con objeto de eliminar los efectos de las mareas y otras causas de variación del nivel de las aguas, permitiendo una explotación controlada de las operaciones marítimas y portuarias. Esta utilización, que es la principal por lo que a esta Recomendación se refiere, puede combinarse, y así se hace habitualmente, con otros usos tales como el aprovechamiento hidroeléctrico del flujo hidráulico, el bombeo de las aguas, etc.

El emplazamiento de las esclusas en lo que a la navegación se refiere debe cumplir los siguientes requisitos principales:

- Buena accesibilidad para los Buques de Proyecto (que pudiera tratarse no de un solo buque sino de un tren de embarcaciones).
- Emplazamiento situado fuera del flujo de objetos flotantes o hielos, así como de las posibles zonas de aterramientos.
- Buena visibilidad para el desarrollo de todas las operaciones de paso de la esclusa.
- Posibilidad de desarrollar ampliaciones laterales para implantar nuevas vías de paso u otro tipo de construcciones que aprovechen los desniveles de agua existentes.

La configuración general de una esclusa de doble vía de navegación se representa en la fig. 8.56, que está esquematizada para una vía de navegación, y en ella pueden diferenciarse los elementos siguientes:

#### — Esclusa

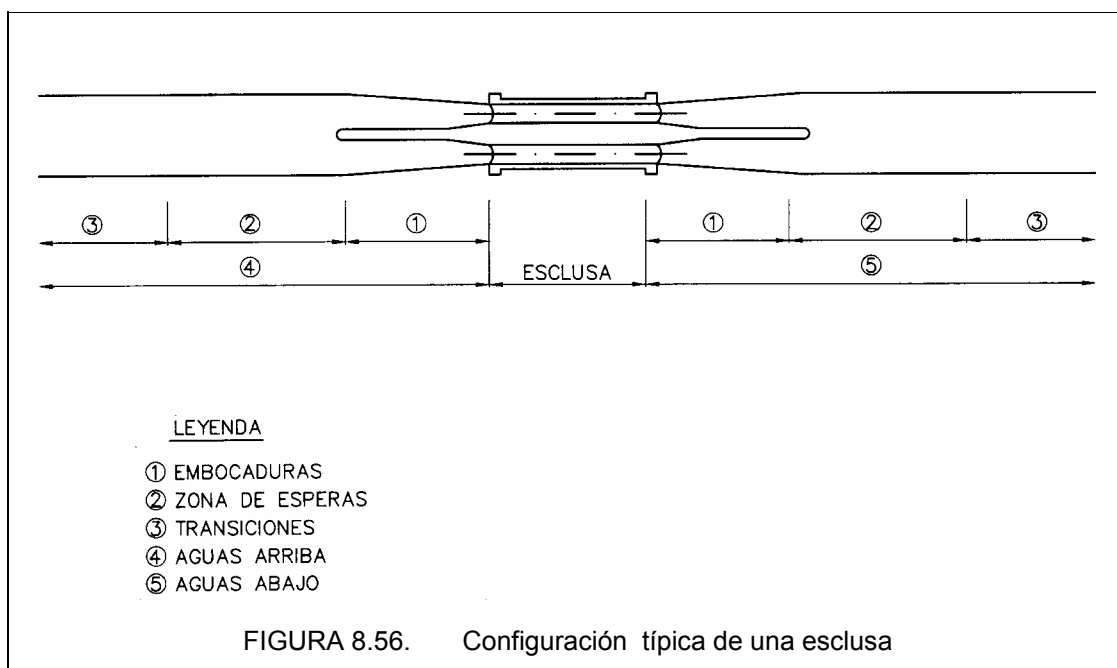
Se trata del cuerpo central del sistema en donde se efectuará el cambio de niveles de agua para adecuar la navegación a los niveles existentes aguas arriba y aguas abajo; sus dimensiones principales se determinarán con los criterios siguientes, que están evaluados para el supuesto de utilizar remolcadores al tiro, que es el caso que precisa un mayor desarrollo:

- Eslora útil:  $L + L_r + 10$  m.

siendo:

$L$  = Eslora total del buque de diseño.

$L_r$  = Suma de la eslora total del remolcador y de la proyección horizontal del cable de remolque, correspondiente al remolcador necesario para el mayor buque de diseño.



En caso de que no se disponga de esta información podrá determinarse el valor de  $L_r$  con los criterios definidos en el apartado 8.10.4.b.

- Manga útil:  $1,20 \cdot B$ .  
siendo  $B$  la manga del buque de diseño.

— Zona de espera

Se trata de las áreas situadas aguas arriba y aguas abajo de la Esclusa, en donde permanecen los buques en espera de efectuar el paso. Sus dimensiones longitudinales dependen de las previsiones de tráfico y de la capacidad de tránsito de la esclusa, mientras que su anchura depende del sistema elegido para fijar la posición de los buques en espera (atraques, boyas, etc.).

Para su emplazamiento deberá contarse con un resguardo mínimo de seguridad entre los buques en tránsito y los buques en espera, que se determinará en cada caso en función de las características del emplazamiento y de los medios de remolque y ayuda a la navegación.

— Embocaduras

Son las áreas que se disponen entre las zonas de espera y la esclusa. La transición se efectuará con un perfil continuo, sin ángulos que manifiesten su vértice hacia el exterior. El ángulo de apertura de cada una de las márgenes será como mínimo de 1:6 y preferentemente de 1:10.

— Transiciones

Son las áreas que conectan la esclusa con los tramos ordinarios de la vía de navegación aguas arriba o aguas abajo. Se dimensionarán con los criterios que se utilizan para definir las transiciones en vías navegables.

### 8.11.2. DIQUES SECOS Y MUELLES ESPECIALES

La implantación de diques secos, varaderos y determinados muelles especiales (Ro-Ros, Ferries, etc.) precisará desarrollar configuraciones muy adecuadas a las características específicas de este tipo de instalaciones. Si bien estas configuraciones definen los límites de las áreas de flotación, su concreción depende fundamentalmente de las condiciones operativas de estos muelles e instalaciones, por lo que su determinación supera el contenido de esta Recomendación, que se tratará en las que se desarrollen específicamente para Diques secos y muelles.

### 8.11.3. ZONAS DE VARADA DE EMERGENCIA

La zona de varada de emergencia a la que, en caso de que sea legalmente obligatorio, se dirigirán los buques en supuestos excepcionales, estará situada en zonas exteriores al puerto, próximas a su bocana y que cumplan con las condiciones siguientes:

- Fácil accesibilidad desde las rutas de acceso al puerto, con trazados que impliquen el mínimo de maniobras y con dimensionamientos efectuados para buques con condiciones de maniobrabilidad malas
- Separación holgada de las rutas y áreas de navegación y flotación del puerto, de manera que pueda continuar la actividad normal del puerto estando el buque varado, así como durante las maniobras de puesta a flote, salvamento y recuperación del buque varado. Se tendrá en cuenta a este respecto el hecho de que exista tráfico de buques petroleros, químicos, transportadores de gases licuados, u otros con mercancías peligrosas en cuyo caso el buque varado podría ser de esta naturaleza.
- Dimensiones amplias en planta de manera que el buque pueda quedar varado en cualquier posición según sean las condiciones climáticas existentes en el momento. Se recomienda a este respecto que la anchura mínima de la zona de varada sea de 1,5 veces la eslora del buque de diseño del puerto, medidas a una y otra margen de la vía de navegación que accede a la zona de varada.
- Suelos de naturaleza adecuada para permitir la varada de los buques sin ocasionar daños mayores de los que se pretende evitar (fangos, arenas, limos o similares). Asimismo deberá considerarse la idoneidad del terreno para facilitar la puesta a flote.
- Condiciones aceptables de resguardo, especialmente frente a los oleajes y temporales, de manera que se eviten en la medida de lo posible los embates del mar sobre una embarcación que estará en condiciones precarias.
- Condiciones morfológicas y de clima marítimo aceptables para prevenir daños medioambientales, que pudieran estar producidos por pérdidas de mercancías, combustibles o pertrechos del buque.
- Costa no agreste que facilite el salvamento en condiciones de emergencia.
- Alejamiento de áreas urbanas, especialmente en el caso de tratarse de tráfico con mercancías peligrosas

Las zonas de varada de emergencia se indicarán en las cartas náuticas, pero habitualmente no se balizarán, sin perjuicio del balizamiento que proceda en caso de utilización de las mismas.

### 8.12. CONDICIONES LIMITES DE OPERACION

En el análisis de las diferentes áreas de navegación y maniobras definidas en los apartados anteriores se han ido recogiendo las condiciones climáticas límites de operación que se utilizan habitualmente para las operaciones náuticas que se realizan en cada una de ellas. En función de cuáles sean estas condiciones resultarán dimensiones diferentes de las Areas de Flotación, distintos requerimientos de remolcadores y otras ayudas a la navegación y porcentajes diferentes de cierre del puerto o de la maniobra que se considere por condiciones climáticas adversas. La definición de estas condiciones resulta por tanto un elemento transcendental en la determinación de las Areas de Flotación y en la configuración resultante del Puerto, por lo que los criterios y valores que finalmente se adopten deben quedar claramente recogidos en las Normas de Operaciones que se establezca al respecto.

En tanto en cuanto no se disponga de un Reglamento de Operaciones específico de cada caso, se utilizarán las Condiciones límites de Operación recogidas en esta Recomendación, aplicándolas del modo siguiente:

- A efectos de proyecto y dimensionamiento se supondrá que las diferentes variables actúan simultáneamente y con sus valores más desfavorables, a no ser que se efectúen estudios específicos de compatibilidad, que demuestren que estos valores no pueden presentarse simultáneamente en el emplazamiento, en cuyo caso se tomarán los compatibles entre sí. Esta condición puede obligar a considerar diferentes hipótesis de

cálculo considerando cada una de las variables climáticas como predominante y el resto con los valores máximos compatibles con ella.

- A efectos de Operatividad se suspenderán las maniobras afectadas, en el momento en que una cualquiera de las variables alcance los límites más desfavorables establecidos, con independencia de cual sea el valor que en un momento tengan las restantes variables; la posibilidad de operar con valores sobrepasados de una variable asociados a valores no sobrepasados de otras está limitado a los casos en los que se haya hecho un estudio de detalle para el emplazamiento concreto.

Como elemento de valoración de que las Condiciones Límites de Operación finalmente adoptadas son adecuadas al nivel de servicio habitual en cada caso, y en ausencia de estudios económicos concretos al respecto, se recomienda verificar cual es el tiempo de Cierre del Area que se considera en relación con el tiempo total disponible, es decir el tiempo en el que el Area permanecerá inoperativa para determinadas operaciones, por limitaciones de cualquier tipo (planta, alzado, remolcadores, ayudas a la navegación, etc.), producidas por presentarse condiciones climáticas superiores a las establecidas como Condiciones Límites de Operación.

Para facilitar este análisis se recogen en la Tabla 8.2 los tiempos medios de cierre que suelen aceptarse en las Areas objeto de esta ROM, calculadas para las Condiciones Límites de Operación de los Buques de Proyecto, ya sean producidos por variables climáticas de presentación aleatoria no predecible con anticipación (vientos, oleajes, corrientes, mareas meteorológicas, falta de visibilidad, etc.), como por otras variables predecibles con anticipación (mareas astronómicas, etc.). En el supuesto de que haya cierres del Area producidos por la nocturnidad deberá tenerse en cuenta que esta circunstancia reduce el tiempo útil disponible y aumenta el porcentaje de utilización del área, exigiendo requerimientos más estrictos sobre los tiempos de cierre admisibles, tal como se recoge en la propia Tabla 8.2, con independencia de cualquier otra valoración económica o social que pueda realizarse referente a la paralización de operaciones por la noche.

TABLA 8.2. TIEMPOS MEDIOS ACEPTABLES DE CIERRE DE UN AREA POR PRESENTARSE CONDICIONES CLIMATICAS ADVERSAS (SUPERIORES A LAS ESTABLECIDAS COMO LIMITES DE OPERACION PARA LOS BUQUES DE PROYECTO)

CARACTERISTICAS DEL AREA	Tiempos de inoperatividad en horas, por todos los conceptos <sup>(1) (2)</sup>
<p>A. Areas de buques en tránsito (accesos, vías de navegación, canales, bocanas, áreas de maniobras, etc.)</p> <p>1. Puertos de interés general</p> <p>— Areas abiertas a todo tipo de barcos</p> <p>— Areas abiertas a Embarcaciones pesqueras y deportivas (3)</p> <p>2. Puertos de refugio</p> <p>— Areas abiertas a todo tipo de barcos</p> <p>— Areas abiertas a Embarcaciones pesqueras y deportivas (3)</p> <p>3. Otros puertos</p> <p>4. Terminales especializados</p> <p>— Pasajeros, Contenedores, Ferries y otros terminales que operen con líneas regulares</p> <p>— Graneles de cualquier tipo y otros terminales que no operen con líneas regulares</p>	<p>200 h. año 20 h. mes</p> <p>20 h. año 4 h. mes</p> <p>300 h. año 30 h. mes</p> <p>20 h. año 4 h. mes</p> <p>400 h. año 40 h. mes</p> <p>200 h. año 20 h. mes</p> <p>600 h. año 60 h. mes</p>
<p>B. Areas de buques en permanencia (Fondeaderos, amarra- deros, dársenas, muelles, atraques, terminales, etc.)</p> <p>1. Puertos de cualquier tipo</p> <p>2. Terminales especializados</p> <p>— Pasajeros, Contenedores, Ferries y otros terminales que operen con líneas regulares</p> <p>— Graneles de cualquier tipo y otros terminales que no operen con líneas regulares</p>	<p>40 h. año 20 h. mes</p> <p>200 h. año 20 h. mes</p> <p>500 h. año 50 h. mes</p>
<p>(1) Los tiempos de inoperatividad recogidos en esta tabla se refieren al Cierre del Area por cualquier concepto, ya sea por una variable climática no predecible con anticipación (vientos, oleajes, corrientes, mareas meteorológicas, faltas de visibilidad, etc.), como predecible con anticipación (mareas astronómicas, etc.). El cierre del área por nocturnidad no se contemplará a estos efectos valorándose tal como se indica en el texto.</p> <p>(2) Los requerimientos mínimos recogidos en esta Tabla están basados en un porcentaje de utilización del Area por los Buques de Proyecto del 30%, calculado sobre el tiempo útil total disponible (deducido por tanto el tiempo de cierre del Area por cualquier motivo: insuficiencia del nivel de agua, clima marítimo, nocturnidad, etc.). En el supuesto de que este porcentaje de utilización del área sea igual o inferior al 20%, podrán utilizarse valores del doble de los recogidos en la Tabla; asimismo si el porcentaje de utilización del área fuese igual o superior al 40% deberán utilizarse valores de la mitad de los recogidos en la Tabla; para valores intermedios podrá interpolarse linealmente.</p> <p>(3) Los tiempos de inoperatividad se calcularán para las Condiciones Límites de Operación correspondientes a los Buques de Proyecto de embarcaciones pesqueras y deportivas.</p>	



**PARTE 9**

**MODELOS NUMERICOS  
Y SIMULADORES  
DE MANIOBRA DE BUQUES**

---





# MODELOS NUMERICOS Y SIMULADORES DE MANIOBRA DE BUQUES

---

## PARTE 9

### Indice

<b>9.1. OBJETIVOS</b> .....	353
<b>9.2. TIPOS DE MODELOS</b> .....	354
9.2.1. MODELOS CON PILOTO AUTOMATICO .....	354
9.2.2. MICROSIMULADORES .....	355
9.2.3. MINISIMULADORES .....	356
9.2.4. SIMULADORES AVANZADOS .....	357
<b>9.3. FUNDAMENTO DEL MODELO</b> .....	358
9.3.1. FUERZAS HIDRODINAMICAS .....	360
9.3.2. FUERZAS DE PROPULSION .....	360
9.3.3. FUERZAS DE GOBIERNO (TIMON) .....	360
9.3.4. HELICES TRANSVERSALES DE MANIOBRA (PROA Y/O POPA) .....	361
9.3.5. AGUAS POCO PROFUNDAS .....	361
9.3.6. SUCCION Y REPULSION DE ORILLA .....	361
9.3.7. CORRIENTES .....	362
9.3.8. VIENTO .....	362
9.3.9. OLEAJE .....	363
9.3.10. PILOTO AUTOMATICO .....	364
9.3.11. REMOLCADORES .....	364
<b>9.4. PREPARACION DE UN ESTUDIO</b> .....	364
<b>9.5. DESARROLLO DE LAS MANIOBRAS SIMULADAS</b> .....	365
<b>9.6. ANALISIS DE RESULTADOS</b> .....	366
<b>9.7. VENTAJAS E INCONVENIENTES</b> .....	371

<b>9.8. METODOLOGIA EMPLEADA EN EL SIMULADOR</b> .....	372
9.8.1. SELECCION DE CONDICIONES DE SIMULACION .....	372
9.8.2. NUMERO DE SIMULACIONES POR CONDICION .....	373
9.8.3. NIVEL DE EXCEDENCIA .....	374
9.8.4. DISTRIBUCION ESTADISTICA DE LOS BORDES DEL AREA OCUPADA .....	375
9.8.5. OTROS METODOS DE CALCULO .....	376

<b>9.01.</b>	Diagrama de bloques de un modelo con piloto automático .....	355
<b>9.02.</b>	Diagrama de bloques de un simulador interactivo .....	356
<b>9.03.</b>	Esquema genérico de un gran simulador (puente, sistema de proyección pantalla, instalaciones auxiliares) .....	358
<b>9.04.</b>	Gráfico de trayectoria simulada .....	367
<b>9.05.</b>	Gráficos de series temporales (ángulo de timón, rumbo) .....	368
<b>9.06.</b>	Distribución normal de la posición del centro y extremos del buque .....	369
<b>9.07.</b>	Gráfico de envolventes del área ocupada .....	370
<b>9.08.</b>	Extrapolación del área ocupada .....	371



### **9.1. OBJETIVOS**

Los modelos numéricos y simuladores de navegación y maniobra de buques suponen un potente medio para el estudio de proyectos marítimos y portuarios. Su aplicación se centra en el diseño y explotación de instalaciones portuarias, canales de acceso y áreas de flotación, con el objetivo de proporcionar al proyectista una orientación sobre las posibilidades y restricciones del buque en relación con la infraestructura y condiciones climáticas existentes.

Con ellos se pretende reproducir el comportamiento durante la maniobra de un buque sometido a la acción de los factores climáticos (viento, oleaje, corrientes, etc.), y auxiliado por remolcadores. En consecuencia, el uso de estas herramientas permite evaluar la viabilidad de una determinada estrategia de maniobra bajo diversas condiciones meteorológicas incorporando en su caso la acción del hombre. Por lo tanto, se obtienen orientaciones sobre la forma más adecuada de realizar la maniobra, así como sus márgenes de seguridad, e incluso sobre la necesidad y potencia de los medios de maniobra auxiliares a utilizar.

Existen diferentes clases de modelos y simuladores de navegación y maniobra, que son capaces de dar respuesta a problemas diferentes. En las versiones más avanzadas, pueden destacarse las siguientes aplicaciones:

#### *PROYECTO DE OBRAS MARITIMAS Y PORTUARIAS*

Un modelo de maniobra es una importante ayuda para la evaluación integral y detallada de las distintas alternativas para la construcción o ampliación de obras marítimas y portuarias (interferencia de la prolongación de un dique o un nuevo muelle en las maniobras de acceso, posibilidad de acceso de determinado tipo y tamaño de buques, influencia de los diversos temporales de la zona (vientos y oleaje) en la viabilidad de una maniobra, grado de seguridad resultante, trazado económico y seguro de canales de entrada, etc.).

#### *ANALISIS DE CONDICIONES DE OPERACION*

Elaboración de normas de acceso a puerto (tipo y tamaño de buques, condiciones meteorológicas y de marea, estrategias de maniobra, etc.), estimación de la necesidad de remolcadores (número y potencia) en las maniobras, márgenes de seguridad para el acceso a los atraques en malas condiciones meteorológicas, modificación del uso de atraques (conversión de terminales, etc.).

#### *FORMACION DE PERSONAL*

Un simulador avanzado es un medio eficaz para la formación de personal (Capitanes, oficiales, prácticos, etc.), tanto en una etapa básica como en cursos avanzados o de reciclaje. Son campos de aplicación de los simuladores el manejo de la instrumentación y equipos de a bordo, el conocimiento de la respuesta física del sistema ante las acciones exteriores, la práctica de procedimientos preestablecidos de comunicación con remolcadores o sistemas de control de tráfico, la familiarización con barcos nuevos, diferentes o de mayor tamaño, el entrenamiento previo en maniobras de entrada en puertos nuevos o cuyas instalaciones han sido modificadas, la definición de métodos de actuación ante emergencias o bajo condiciones meteorológicas extremas, etc.

#### *INVESTIGACION SOBRE TRAFICO PORTUARIO*

Diseño y optimización de sistemas de ayudas a la navegación, desarrollo de sistemas de control del buque durante el atraque, establecimiento de procedimientos normalizados de comunicación, determinación de tiempos de acceso a los diferentes muelles, determinación de períodos de entrada y salida a puertos de marea (conurrencia de mareas, vien-

tos y oleaje para buques de diferentes clases y tamaños), análisis a posteriori de accidentes marítimos, etc.

### *INVESTIGACIÓN SOBRE EL BUQUE*

Modelización matemática de la respuesta física del buque en diferentes condiciones de calados, en canales y zonas confinadas. Desarrollo de sistemas de propulsión y gobierno más eficaces. Desarrollo de nuevos tipos de remolcadores. Desarrollo de nuevas estrategias para la aplicación de los remolcadores. Estudio y evaluación de nuevos sistemas de navegación, medios de comunicación e instrumentación a bordo, etc.

## **9.2. TIPOS DE MODELOS**

Existen dos elementos básicos que constituyen estos modelos:

- La formulación matemática en que se basan, que en todo caso debe incluir simplificaciones, dada la multiplicidad y complejidad de los fenómenos que interaccionan.
- El equipo que rodea al modelo matemático, que supone el medio de relación del hombre con la situación modelizada. Este elemento determina el tipo de simulador y aumenta el grado de calidad en la reproducción de la situación real.

El objetivo último es lograr la reproducción tanto de la respuesta física del buque como del comportamiento del personal que opera sobre él, habida cuenta de la importancia del factor humano en el desarrollo de las maniobras. Por ello, es fundamental en todo caso disponer de un modelo matemático completo y riguroso, que tenga en cuenta los factores predominantes en la maniobra. Pero en ocasiones, la actuación sobre elementos de control semejantes a los reales, con una percepción realista del entorno, es decisiva. Concretamente:

- Instrumentos e indicadores a bordo (Girocompás, ángulo del timón, corredera, rpm del motor principal, etc.).
- Elementos de control (palanca del timón, telégrafo de órdenes al motor principal, etc.).
- Imagen de radar (posición y rumbo del buque).
- Imagen del entorno del buque (marcas de referencia y señalización, percepción de posición y movimiento).
- Medios de comunicación con los remolcadores y otros buques.

En este sentido, dependiendo de la riqueza de elementos que se ofrecen al operador y de la semejanza con la situación real, pueden distinguirse cuatro niveles distintos, dentro de una amplia gama:

1. Modelos con piloto automático.
2. Microsimuladores.
3. Minisimuladores.
4. Simuladores avanzados.

A continuación se describen someramente cada uno de los tipos de simulador enunciados.

### **9.2.1. MODELOS CON PILOTO AUTOMATICO**

En este tipo de modelos no existe interactividad entre hombre y sistema. Se basan en la modelización tanto del comportamiento del buque y de las condiciones físicas (fuerzas de viento, corriente, oleaje, etc.) como de las acciones del piloto, que es sustituido por un algoritmo matemático.

En estos modelos se ejecuta un programa del tipo representado en la figura 9.01, que, mediante un sistema de piloto automático, actúa sobre la propulsión y el timón intentando seguir una trayectoria prefijada, bajo condiciones ambientales preestablecidas. En al-

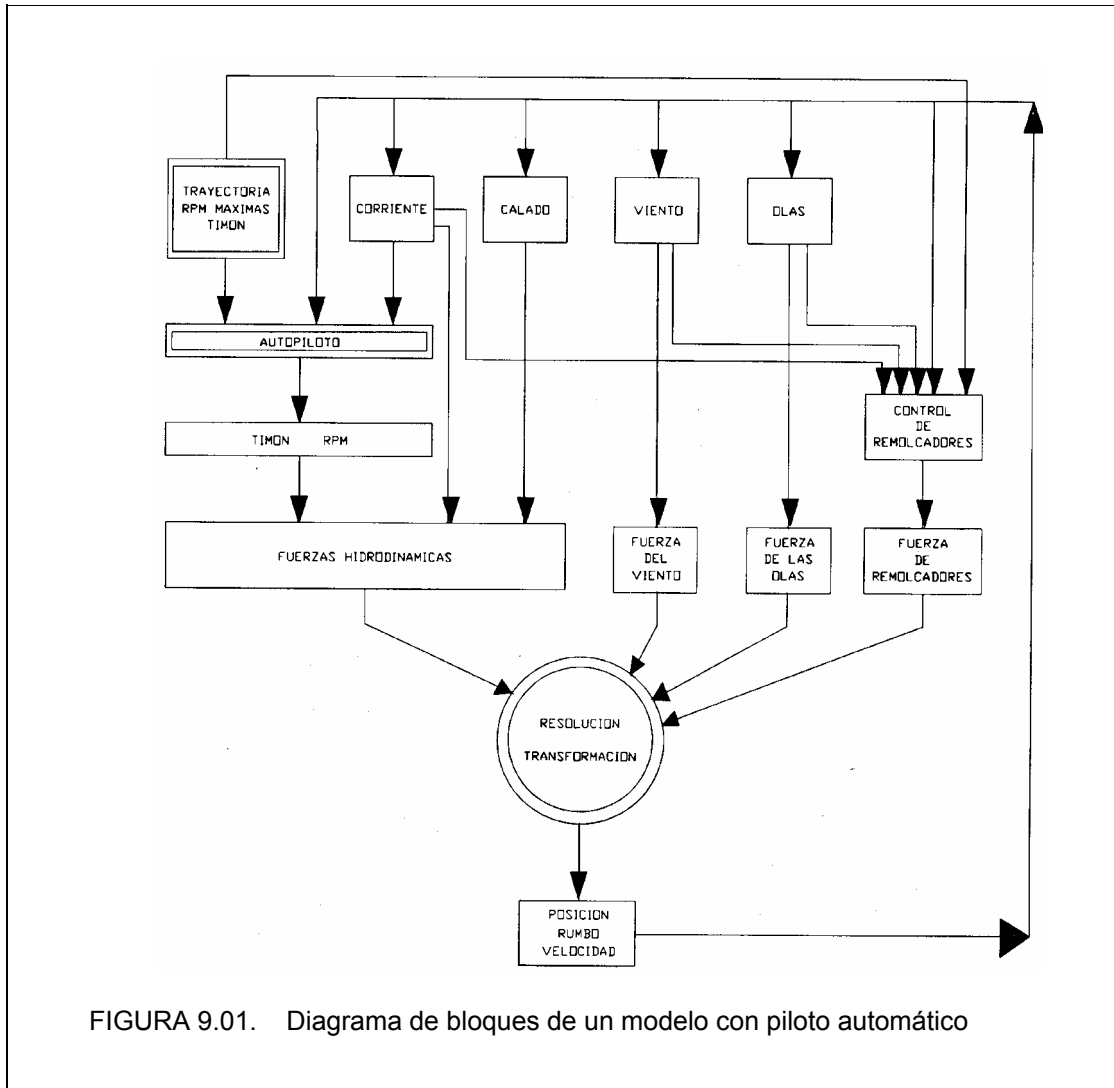


FIGURA 9.01. Diagrama de bloques de un modelo con piloto automático

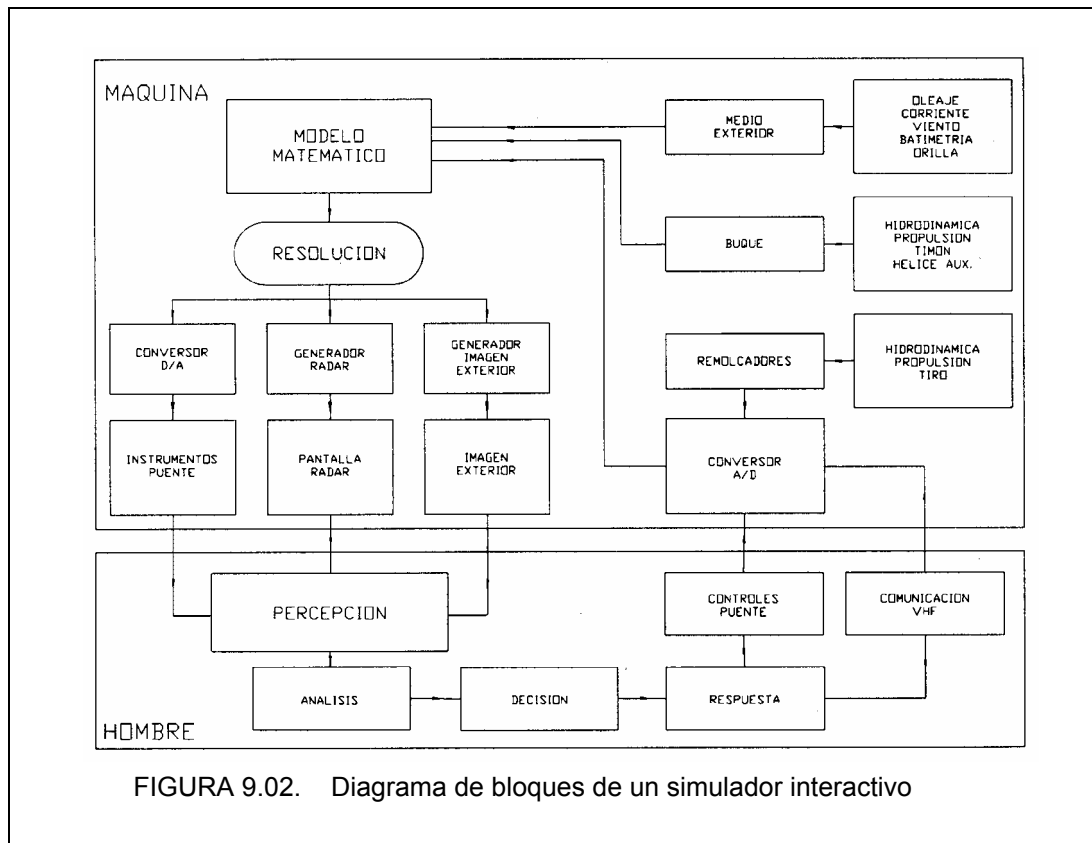
gunas versiones, se dispone también de un modelo simplificado de operación de remolcadores. Es posible, pues, que éstos asistan al buque en su evolución, especialmente en el caso de seguimiento de una trayectoria. La simulación de la maniobra se ejecuta en un tiempo muy corto, que depende únicamente de la velocidad de cálculo del ordenador. Por este motivo, son conocidos también como modelos «fast-time» o acelerados.

### 9.2.2. MICROSIMULADORES

La principal aportación de este segundo nivel es la interactividad del hombre con el sistema, lo que constituye un importante cambio cualitativo. Las maniobras simuladas tienen la misma duración que en la realidad, y el usuario puede tomar decisiones durante su desarrollo, a la vista de la información que va recibiendo. Las acciones resultantes son órdenes a la máquina, al timón o a los remolcadores.

La formulación matemática que reproduce el comportamiento del buque bajo la acción de las diversas fuerzas exteriores puede ser exactamente la misma que en un modelo con piloto automático. La diferencia en la operación del sistema es, sin embargo, significativa, al igual que los resultados.

La información que se recibe es, a pesar de todo, limitada y no se pretende reproducir la instrumentación habitual a bordo. Consta de un ordenador con sus periféricos básicos (impresora y plotter). Normalmente, se dispone de una imagen tipo radar (vista de pájaro) con la posición del buque en relación a su entorno. Al mismo tiempo, en la pantalla se presenta una indicación simplificada de rumbo, velocidad, ángulo de timón y revoluciones



del motor. Las órdenes a la máquina, al timón y a los remolcadores se dan por medio del ratón o mediante combinaciones de teclas en un teclado normal.

Como se ha indicado, la interactividad representa una gran aportación en el análisis del desarrollo de las maniobras. El factor humano, difícil de reproducir con una formulación como la del piloto automático, está presente como tal e introduce una cierta dispersión en los resultados de simulaciones sucesivas de la misma maniobra. Este componente aleatorio habrá de ser considerado en los criterios de diseño.

La actuación en tiempo real obliga a disponer de equipos informáticos de mayor potencia, dotados de sistemas operativos más sofisticados. Solo así podrán recibirse órdenes del usuario e incorporarlas al modelo de forma inmediata, a la vez que se calculan las fuerzas y se resuelven las ecuaciones de movimiento con precisión y velocidad suficiente. El diagrama de bloques de un simulador interactivo se representa en la figura 9.02.

### 9.2.3. MINISIMULADORES

Este tipo de instalación representa un estado intermedio hacia los simuladores más complejos. Las principales diferencias con la etapa anterior son dos:

- La incorporación de una imagen exterior de la zona de maniobra del buque, tal como se vería desde el puente.
- La existencia de una reproducción del puente, con todos o parte de sus controles e indicadores (telégrafo de órdenes a la máquina, timón, indicadores de velocidad, rumbo, profundidad, velocidad y dirección del viento, etc.).

Por ello, las referencias que tiene el usuario son tanto la visión de radar como la imagen exterior, junto con los indicadores habituales a bordo. Ahora bien, todo lo anterior se recoge en un espacio limitado y con reducida capacidad. En efecto, el local del puente de mando puede tener unas dimensiones muy inferiores a las reales, y la consola de gobierno puede ser de pequeño tamaño. Al mismo tiempo, la imagen exterior se



presenta bien en una pantalla gráfica, con unos 45 grados de amplitud horizontal, o en sistemas de proyección de mayor tamaño, alcanzando hasta 90 o 100 grados de visión.

Este tipo de simulador, como es lógico, requiere ya un local dedicado a esta función, así como equipos informáticos y de comunicaciones de mayor coste.

#### **9.2.4. SIMULADORES AVANZADOS**

Representan el escalón más elevado que se emplea actualmente, con un grado de fidelidad muy elevado y en constante mejora. Este crecimiento va parejo al desarrollo de equipos informáticos de mayor capacidad, especialmente en lo que se refiere al tratamiento de gráficos.

Uno de los elementos que define este tipo de sistemas es la reproducción del puente de mando del buque y su instrumentación, todo ello en una habitación dispuesta al efecto. Los equipos pueden ser incluso gemelos de los que se disponen en puentes reales. El nivel de equipamiento puede llegar a incluir consolas de control (máquina(s), timón(es), hélice(s) de maniobra), sistemas de navegación diversos (GPS, Decca, Loran C, radiogoniómetro), equipos de radar sintéticos o reales dotados de ARPA, sistemas de comunicaciones (VHF reales), indicadores diversos (velocidad y dirección de viento, ecosonda, girocompás, correderas, etc.), consolas de alarmas y señalización, etc.

Un segundo elemento notable es la presentación de la imagen exterior al buque, proyectada sobre una pantalla de grandes dimensiones, generalmente circular, que puede llegar a los 360° de amplitud horizontal y entre 25 y 35° de amplitud vertical. Esta imagen presenta, de modo relativamente simplificado, diques, muelles, boyas, luces y faros, marcas de referencia, otros buques atracados o en navegación, la parte visible del buque propio y, en general, todo aquel objeto relevante a la hora de reproducir la maniobra, por ser un obstáculo o referencia destacada. Es posible realizar la maniobra en diferentes condiciones de luz (día, crepúsculo, noche) y visibilidad (bruma, niebla, lluvia, etc.).

Las principales características funcionales a valorar en cuanto a la imagen exterior son: amplitud horizontal y vertical, número de objetos gráficos que pueden controlarse, velocidad de refresco de imagen, resolución, calidad de imagen (número de colores, métodos de sombreado, posibilidad de presentación de texturas), presencia de elementos móviles preprogramados o controlables desde un puesto exterior (remolcadores, otros buques próximos, etc.), métodos de iluminación, presentación del mar (oleaje, corrientes), presentación del cielo (nubosidad, chubascos, viento), presentación de movimientos verticales del buque, etc. La mayoría dependen de la potencia de cálculo de los sistemas informáticos gráficos, a lo que se une el número y calidad de los sistemas de proyección.

Es también frecuente disponer de sistemas de generación de sonido, orientados fundamentalmente a la reproducción del ruido y vibraciones de la máquina, señales propias o exteriores (bocinas, sirenas) y otros ruidos ambientales (viento, lluvia). En algunos casos, el simulador es móvil, pudiendo generarse las oscilaciones de alzada, cabeceo y balance debidas al oleaje por medio de un conjunto de actuadores hidráulicos o eléctricos que soportan el puente.

Los simuladores más avanzados cuentan habitualmente con un puesto de instructor o controlador, dotado de repetidores de la imagen radar y la visión exterior así como de los instrumentos principales del puente (rpm de máquina, posición del timón, rpm de hélices de maniobra, corredera y sonda) recogidos en una consola de control, circuito cerrado de televisión y sonido, etc. Desde este puesto se realiza el seguimiento de la maniobra simulada y se controlan determinados aspectos externos al buque (receptor de comunicaciones, control del entorno ambiental, tráfico marítimo en las proximidades, actuación de remolcadores, gestión de averías o disfunciones de los elementos de control propios, etc.).

Ciertos diseños permiten la interconexión de varios simuladores, de modo que pueden reproducirse condiciones de maniobra complejas en las que interactúan varios buques diferentes (análisis de situaciones de tráfico intenso (cruces, adelantamientos), interrelación remolcador(es)-buque remolcado, etc.).

Puede, por tanto, recrearse un ambiente muy realista, pero no ha de olvidarse que siempre, bajo esta apariencia, existe una formulación matemática que gobierna el comportamiento del buque, evaluando las fuerzas exteriores y calculando la respuesta correspondiente. Lo habitual es que a medida que se incrementa el coste de la instalación se mejore también el modelo matemático subyacente, incorporando de forma más precisa efectos externos. Con todo, las limitaciones en este campo son aún grandes, como amplias son las posibilidades de progreso. La figura 9.03 recoge el esquema genérico de un gran simulador.

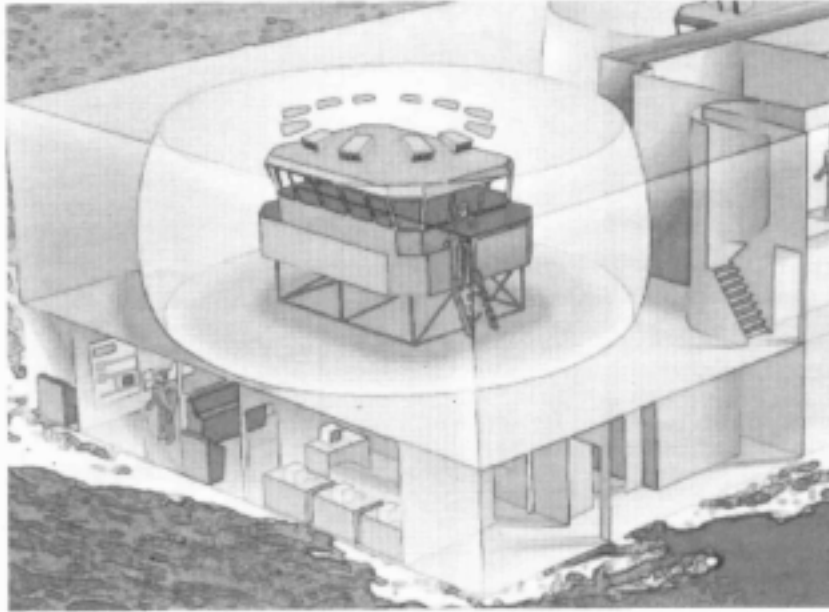


FIGURA 9.03. Esquema genérico de un gran simulador (puente, sistema de proyección, pantalla, instalaciones auxiliares)

### 9.3. FUNDAMENTO DEL MODELO

El modelo matemático calcula la trayectoria del centro de gravedad y el rumbo del buque a lo largo del tiempo, sometido a la acción de las fuerzas exteriores, la propulsión (hélice) y el gobierno (timón). En el caso de un modelo con piloto automático, es un algoritmo matemático el que decide las acciones sobre el timón, la máquina y los remolcadores. Por el contrario, en simuladores interactivos, el operador del modelo da las órdenes en tiempo real.

Las principales fuerzas a considerar durante la evolución del buque, que deben ser incluidas en el modelo matemático, son:

- Fuerzas hidrodinámicas sobre el casco (sustentación y fricción).
- Propulsión (hélice única, dos hélices, dispositivos especiales), teniendo en cuenta la respuesta dinámica de la maquinaria propulsora (motor diesel, turbina de vapor, etc.).
- Fuerzas debidas al equipo de gobierno (uno, dos o más timones), incluyendo la interacción con el casco y la hélice, así como las características dinámicas del servomotor.
- Hélices auxiliares de proa y/o popa, teniendo en cuenta la relación entre su rendimiento y la velocidad del buque.
- Modificación del flujo alrededor del casco en aguas poco profundas y de batimetría variable.
- Efectos de succión y repulsión de orilla.
- Corrientes de distribución espacial no uniforme, con especial atención al gradiente longitudinal.
- Viento de distribución espacial no uniforme y racheado.
- Fuerzas de primer y segundo orden debidas al oleaje.
- Acción de los remolcadores de diferentes clases, incluyendo el retardo en la respuesta del remolcador a las órdenes, así como la reducción de su rendimiento con la velocidad del buque.

- Interacción buque-buque (cruce y adelantamiento)
- Elementos auxiliares de maniobra: amarras, anclas, etc.
- Otras fuerzas: colisión, varada, etc.

Los modelos matemáticos de movimiento del buque utilizados presentan características especiales, pues han de reproducir las condiciones habituales en áreas portuarias. Concretamente, deberán ser capaces de reproducir movimientos a baja velocidad, con ángulos de deriva elevados en muchos casos, y casi siempre en aguas poco profundas.

Las ecuaciones que rigen el movimiento del buque se establecen con respecto a un sistema de referencia ligado al centro de gravedad del buque. Lo más habitual es analizar los movimientos en el plano (avance, deriva, guiñada), ya que sólo en buques de alta velocidad será relevante la influencia de los movimientos verticales (alzada, cabeceo, balance) en las condiciones de maniobra. Los desarrollos continuos en el campo hidrodinámico, de todos modos, permiten ir incorporando progresivamente el comportamiento del buque con seis grados de libertad, incluyendo la acción del oleaje, «squat», etc.

Las variables básicas a analizar son la posición del buque ( $x, y$ ), su rumbo ( $\psi$ ), las diferentes componentes de la velocidad ( $u, v, r$ ), las revoluciones de la hélice ( $n$ ) y el ángulo de timón ( $\alpha_T$ ).

La respuesta del buque se rige por la Segunda Ley de Newton (Fuerza = masa x aceleración), que se descompone en los tres ejes a considerar:

$$X = M_x x''$$

$$Y = M_y y''$$

$$N = I_p \times r''$$

donde:

$X$  = Componente según el eje x de la fuerza exterior.

$Y$  = Componente según el eje y de la fuerza exterior.

$N$  = Momento resultante de la fuerza exterior respecto al centro de gravedad del buque.

$M_x$  = Masa hidrodinámica (masa más masa añadida) del buque en el movimiento a lo largo del eje x.

$M_y$  = Masa hidrodinámica (masa más masa añadida) del buque en el movimiento a lo largo del eje y.

$I_p$  = Momento de inercia hidrodinámico del buque respecto al c.d.g. (el superíndice " indica la segunda derivada respecto al tiempo).

La ecuación anterior está referida al sistema de ejes solidario al buque, pero se expresa más frecuentemente en un sistema de referencia fijo:

$$X = M_x \times (u' - v \times r - x_G \times r^2)$$

$$Y = M_y \times (V + u \times r + x_G \times r')$$

$$N = I_p \times r' + M_x \times x_G (V' + u \times r)$$

donde:

$u$  = Velocidad en dirección x.

$v$  = Velocidad en dirección y.

$r$  = Velocidad de rotación.

$x_G$  = Coordenada longitudinal del c.d.g. del buque referida al sistema de ejes solidario con él (el superíndice ' indica la primera derivada respecto al tiempo).

A continuación se describen las ecuaciones típicas de un modelo de maniobra sencillo y genérico, a título descriptivo. Esta referencia no pretende ser exhaustiva, ya que existen multitud de variantes, más o menos complejas en cuanto al número de términos considerados y su formulación, que en general es más compleja que la descrita en la sección 4 de esta ROM.

### 9.3.1. FUERZAS HIDRODINÁMICAS

$$\begin{aligned} X_{\text{hidr}} &= X_u u' + X_{uu} uu + X_{vr} vr \\ Y_{\text{hidr}} &= Y_v \cdot V' + Y_r \cdot r' + Y_{uv} uv + Y_w |v|v| + Y_{ur} ur + Y_{rr} |r|r \\ N_{\text{hidr}} &= N_v \cdot V' + N_r \cdot r' + N_{uv} uv + N_{vv} |v| |v| + N_{ur} ur + N_{rr} |r|r \end{aligned}$$

donde:

$X_{\text{hidr}}$  = Componente x de la fuerza hidrodinámica.

$Y_{\text{hidr}}$  = Componente y de la fuerza hidrodinámica.

$N_{\text{hidr}}$  = Momento de la fuerza hidrodinámica.

(los términos en cursiva son los coeficientes propios del buque (derivadas hidrodinámicas), que determinan el comportamiento del casco en una condición específica). Estos términos en cursiva no aparecen recogidos en la Tabla 1.1 de Notaciones.

El término  $X_{\text{hidr}}$  corresponde a la resistencia al avance del buque en unas condiciones de navegación concretas, mientras  $Y_{\text{hidr}}$  y  $N_{\text{hidr}}$  corresponden a la fuerza de deriva y momento de guiñada. Las características de maniobrabilidad se expresan, por tanto, mediante un juego de coeficientes hidrodinámicos específicos para cada buque o clase de buques. Estos coeficientes se determinan habitualmente por medio de ensayos en modelo físico (ensayos en canal, en tanque de maniobra o de modelo libre), y son una característica particular para cada tipo y tamaño de buque en una condición de carga dada.

### 9.3.2. FUERZAS DE PROPULSIÓN

$$\begin{aligned} X_{\text{prop}} &= X_{nn} n^2 + X_{un} un \\ Y_{\text{prop}} &= Y_{nn} n^2 \\ N_{\text{prop}} &= Y_{\text{prop}} \times X_{\text{prop}} \end{aligned}$$

donde:

$X_{\text{prop}}$  = Componente x de la fuerza propulsora.

$Y_{\text{prop}}$  = Componente y de la fuerza propulsora.

$N_{\text{prop}}$  = Momento de la fuerza propulsora.

$n$  = Revoluciones de la hélice.

$X_{\text{prop}}$  = Posición longitudinal de la hélice referida al sistema de ejes solidarios con el buque.

(Los términos en cursiva son coeficientes propios de la propulsión del buque y su interacción con la carena.) Estos términos en cursiva no aparecen recogidos en la Tabla 1.1 de Notaciones.

El término  $X_{\text{prop}}$  corresponde al empuje suministrado por la hélice. Los otros términos representan las fuerzas laterales debidas a la acción de la hélice y explican, por ejemplo, el fenómeno de caída lateral del buque al dar atrás. En todo caso, debe considerarse el comportamiento dinámico del conjunto de la maquinaria propulsora (rpm mínimas y máximas, aceleración, curva característica par-rpm, etc.).

### 9.3.3. FUERZAS DE GOBIERNO (TIMON)

$$\begin{aligned} X_{\text{timón}} &= X_{d\tau\tau} \alpha_T \alpha_T uu + X_{d\tau n} \alpha_T \alpha_T nu \\ Y_{\text{timón}} &= Y_{d\tau\tau} \alpha_T |u| |u| + Y_{d\tau n} \alpha_T nu + Y_{d\tau n n} \alpha_T nn \\ N_{\text{timón}} &= Y_{\text{timón}} \times X_{\text{timón}} \end{aligned}$$

donde:

$X_{\text{timón}}$  = Componente x de la fuerza de gobierno.

$Y_{\text{timón}}$  = Componente y de la fuerza de gobierno.

$N_{\text{timón}}$  = Momento de la fuerza de gobierno.

$\alpha_T$  = Angulo de timón.

$X_{\text{timón}}$  = Posición longitudinal del timón referida al sistema de ejes solidarios con el buque.

(Los términos en cursiva son coeficientes propios del timón del buque y su interacción con la hélice y la carena.) Estos términos en cursiva no aparecen recogidos en la Tabla 1.1 de Notaciones.

El término  $X_{\text{timón}}$  corresponde al aumento de resistencia al meter un cierto ángulo de timón. Los términos  $Y_{\text{timón}}$  y  $N_{\text{timón}}$  expresan la deriva y par de giro inducidos por el timón. Igualmente, deben considerarse las características dinámicas del servomotor (ángulos máximos de timón, velocidad de giro, etc.).

#### 9.3.4. HELICES TRANSVERSALES DE MANIOBRA (PROA Y/O POPA)

$$Y_{\text{helaux}} = (\gamma_w/2g) \times A_{\text{helaux}} V^2 f_1(u/V_F)$$

$$N_{\text{helaux}} = Y_{\text{helaux}} \times X_{\text{helaux}} f_2(u/V_F)$$

donde:

$Y_{\text{helaux}}$  = Componente transversal de la fuerza inducida por la hélice auxiliar.

$N_{\text{helaux}}$  = Momento inducido por la hélice auxiliar.

$X_{\text{helaux}}$  = Posición longitudinal de la hélice auxiliar referida al sistema de ejes solidarios con el buque.

$\gamma_w$  = Peso específico del agua de mar.

$g$  = Aceleración de la gravedad.

$A_{\text{helaux}}$  = Superficie de la tobera de la hélice auxiliar.

$V_F$  = Velocidad del flujo en la tobera.

Las fuerzas inducidas por las hélices auxiliares tienen generalmente formato de producto de densidad, superficie y velocidad de flujo al cuadrado, correspondientes a fenómenos de presión dinámica de fluidos. Los términos  $f_1$  y  $f_2$  representan los factores de reducción de empuje por la interacción del flujo y el propio casco a diferentes velocidades de navegación.

#### 9.3.5. AGUAS POCO PROFUNDAS

Se considera una condición de aguas profundas cuando la relación  $h/D > 5$  ( $h$  = profundidad,  $D$  = calado del buque). En este caso, la influencia del fondo en la capacidad de maniobra del buque es despreciable. Por el contrario, en aguas de profundidad limitada ( $h/D < 2$ ), el flujo de agua alrededor del casco en movimiento se ve alterado por la restricción de la sección de paso, modificándose las características de maniobrabilidad de los buques. Este efecto llega a ser muy importante en situaciones de resguardo bajo quilla muy reducido (10% o incluso 5% del calado), que no son infrecuentes en muchos canales y dársenas portuarias.

Los modelos de maniobra más utilizados incorporan este fenómeno por medio de dos o más juegos de coeficientes hidrodinámicos, obtenidos a través de ensayos en modelo reducido en diversas condiciones de profundidad. Durante la aplicación de un modelo, se seleccionan los coeficientes de respuesta del buque más adecuados a la profundidad local en cada momento, o se interpola entre los coeficientes disponibles, normalmente en función de  $D/h-D$ .

#### 9.3.6. SUCCION Y REPULSION DE ORILLA

$$X_{\text{orilla}} = X_1 u^3/hB_T + X_2 uvB/B_T$$

$$Y_{\text{orilla}} = Y_1 uvx_b + Y_2 a_e u^2 + Y_3 a_e^2 uv$$

$$N_{\text{orilla}} = N_1 uvx_b + N_2 a_e u^2 + N_3 a_e^2 uv$$

donde:

$X_{\text{orilla}}$  = Componente longitudinal de la fuerza de succión/repulsión.

$Y_{\text{orilla}}$  = Componente transversal de la fuerza de succión/repulsión.

- $N_{\text{orilla}}$  = Momento de succión/repulsión.  
 $h$  = Profundidad de agua en el canal.  
 $B_T$  = Anchura del canal de navegación.  
 $B$  = Manga del buque.  
 $x_b$  = Coeficiente de bloqueo  $B_T/B$ .  
 $a_e$  = Coeficiente de excentricidad.

(Los términos en cursiva son coeficientes propios del casco del buque.) Estos términos en cursiva no aparecen recogidas en la Tabla 1.1 de Notaciones.

El término  $X_{\text{orilla}}$  corresponde al aumento de resistencia al navegar en aguas confinadas. Los términos  $Y_{\text{orilla}}$  y  $N_{\text{orilla}}$  expresan la fuerza lateral y el momento de giro debidos a la succión hacia la orilla del canal, motivados por la asimetría del flujo alrededor del casco.

### 9.3.7. CORRIENTES

Lo habitual es reproducir la influencia de la corriente sobre el buque aplicando el principio de movimiento relativo. Esto es, ya que los coeficientes hidrodinámicos del buque reproducen las fuerzas y momentos sobre el casco sometido a un flujo de agua a su alrededor, basta considerar que ese flujo está compuesto por la velocidad del propio buque sumada vectorialmente a la velocidad de la corriente local. Habrá que tener en cuenta igualmente la composición de aceleraciones. Las ecuaciones correspondientes son:

$$\begin{aligned}
 u_r &= u - u_c & u'_r &= u' - u'_c \\
 v_r &= v - v_c & v'_r &= v' - v'_c \\
 r_r &= r - r_c & r'_r &= r' - r'_c
 \end{aligned}$$

donde:

$u, v, r$  = Velocidad absoluta del buque.

$u_r, v_r, r_r$  = Velocidad relativa del buque.

$u_c, v_c, r_c$  = Velocidad absoluta de la corriente.

(El superíndice ' indica derivada respecto al tiempo.)

En el modelo es importante considerar la existencia de gradientes longitudinales de corriente (variaciones de intensidad o dirección a lo largo de la eslora), que pueden dar lugar a momentos de giro muy relevantes. Por ello, no basta considerar el valor puntual de la corriente, sino que es necesario integrar sus variaciones en al menos tres puntos de la eslora.

### 9.3.8. VIENTO

$$\begin{aligned}
 X_{\text{viento}} &= (\rho/2g) \times C_x(\alpha_{vr}) \times AM_{\text{frontal}} \times V_{vr}^2 \\
 Y_{\text{viento}} &= (\rho/2g) \times C_y(\alpha_{vr}) \times AM_{\text{lateral}} \times V_{vr}^2 \\
 N_{\text{viento}} &= (\rho/2g) \times C_N(\alpha_{vr}) \times AM_{\text{lateral}} \times L \times V_{vr}^2
 \end{aligned}$$

donde:

$X_{\text{viento}}$  = Fuerza longitudinal del viento.

$Y_{\text{viento}}$  = Fuerza transversal del viento.

$N_{\text{viento}}$  = Momento de las fuerzas producidas por el viento.

$C_x(\alpha_{vr})$  = Coeficiente longitudinal de forma.

$C_y(\alpha_{vr})$  = Coeficiente transversal de forma.

$C_N(\alpha_{vr})$  = Coeficiente de forma del momento.

$\alpha_{vr}$  = Angulo de incidencia del viento relativo al buque.

$\rho$  = Peso específico del aire.  
 $g$  = Aceleración de la gravedad.  
 $AM_{\text{fronta}}$  = Area frontal de la obra muerta del buque.  
 $AM_{\text{lateral}}$  = Area lateral de la obra muerta del buque.  
 $V_{vr}$  = Velocidad relativa del viento.

(Los términos en cursiva son coeficientes y valores propios del buque.) Estos términos en cursiva no aparecen recogidas en la Tabla 1.1 de Notaciones.

De nuevo, las fuerzas inducidas por el viento toman la forma de producto de densidad por superficie por velocidad de flujo al cuadrado, correspondientes a fenómenos de presión dinámica de fluidos.

El término  $X_{\text{viento}}$  corresponde al aumento de resistencia al avance debido al viento. Los términos  $V_{\text{viento}}$  y  $N_{\text{viento}}$  expresan la fuerza lateral y el momento de giro debidos a la acción del viento. Todos los valores anteriores dependen tanto de las dimensiones del buque en cuestión como de las formas de la obra muerta (volumen y posición longitudinal de superestructuras, existencia de carga sobre cubierta, tapas de escotilla o palos, etc.) y del ángulo de incidencia del viento con respecto al buque. Los coeficientes  $C_x$ ,  $C_y$  y  $C_N$  recogen estos aspectos.

### 9.3.9. OLEAJE

Las fuerzas de primer orden se traducen en movimientos verticales del buque (altea, cabeceo, balance) y guiñadas instantáneas, que no todos los modelos son capaces de calcular con la precisión y velocidad suficiente. Las fuerzas de segundo orden tienen una mayor influencia en la maniobra, y se suelen formular del siguiente modo:

$$\begin{aligned}
 X_{o.a} &= (\gamma_w/2g) \times C_x(T_w \alpha_w) \times AV_{\text{frontal}} \times H_s^2 \\
 Y_{o.a} &= (\gamma_w/2g) \times C_y(T_w \alpha_w) \times AV_{\text{lateral}} \times H_s^2 \\
 N_{o.a} &= (\gamma_w/2g) \times C_N(T_w \alpha_w) \times AV_{\text{lateral}} L \times H_s^2
 \end{aligned}$$

donde:

$X_{ola}$  = Fuerza longitudinal del oleaje.  
 $Y_{ola}$  = Fuerza transversal del oleaje.  
 $N_{ola}$  = Momento de las fuerzas producidas por el oleaje.  
 $C_x(T_w \alpha_w)$  = Coeficiente longitudinal de forma.  
 $C_y(T_w \alpha_w)$  = Coeficiente transversal de forma.  
 $C_N(T_w \alpha_w)$  = Coeficiente de forma del momento.  
 $T_w$  = Período del oleaje.  
 $\alpha_w$  = Ángulo de incidencia del oleaje.  
 $\gamma_w$  = Peso específico del agua de mar.  
 $g$  = Aceleración de la gravedad.  
 $AV_{\text{frontal}}$  = Area frontal de la obra viva.  
 $AV_{\text{lateral}}$  = Area lateral de la obra viva.  
 $L$  = Eslora total del buque.  
 $H_s$  = Altura significativa del oleaje.

(Los términos en cursiva son coeficientes y valores propios del buque.) Estos términos en cursiva no aparecen recogidos en la Tabla 1.1 de Notaciones.

El término  $X_{ola}$  corresponde al aumento de resistencia al avance debido al oleaje. Los términos  $Y_{ola}$  y  $N_{ola}$  expresan la fuerza lateral y el momento de giro debidos a la acción del oleaje. Todos los valores anteriores dependen tanto de las dimensiones del buque en cuestión como de las formas de la obra viva y del ángulo de incidencia del oleaje con respecto al buque. Los coeficientes  $C_x$ ,  $C_y$  y  $C_N$  recogen, como en el caso anterior, estos aspectos.

### 9.3.10. PILOTO AUTOMATICO

Existen diversas formulaciones, aunque los autopilotos basados en algoritmos PID (proporcional-integral-diferencial) son los más empleados. Se parte de una trayectoria objetivo a la que el buque debe ceñirse en lo posible, sufriendo desviaciones por efecto de los agentes ambientales o por las propias limitaciones de maniobra. En cada instante, se comprueba la posición y rumbo deseados sobre la trayectoria con una cierta distancia de anticipación. De este modo, se calculan los errores de posición y rumbo, como diferencias entre los valores reales y los deseados. A partir de estos valores, se deciden acciones sobre timón (incremento de ángulo) y máquina (aumento de régimen) de acuerdo con la siguiente formulación:

$$A_{pa} \times \alpha_T + B_{pa} \times \alpha'_T = C_{pa} \times \Delta\psi + D_{pa} \times \Delta y + E_{pa} \times r + F_{pa} \times r' + G_{pa}$$

donde:

$\alpha_T$	=	Angulo de timón.
$\Delta\psi$	=	Error de rumbo.
$\Delta y$	=	Error de posición.
$r$	=	Velocidad de rotación del buque.
$A_{pa}, B_{pa}, C_{pa}, D_{pa}, E_{pa}, F_{pa}, G_{pa}$	=	Coefficientes del piloto automático.

(El superíndice ' indica la derivada respecto al tiempo.)

El ángulo de timón está limitado por un valor máximo (normalmente 35 grados) y su velocidad está igualmente limitada por la potencia del servomotor. El régimen de máquina se incrementa si el ángulo de timón deseado para corregir la posición del buque supera un valor prefijado (en el orden del doble del ángulo máximo), de modo que se reproduzca la acción habitual de dar una palada avante durante unos segundos a fin de aumentar el gobierno.

### 9.3.11. REMOLCADORES

Un simulador debe ser capaz de reproducir la operación de los remolcadores con el realismo suficiente, aun estando dotado de un modelo simplificado. En este sentido, son parámetros relevantes a considerar el número de remolcadores, su potencia y tiro a punto fijo correspondiente y la posición con respecto al buque remolcado. El modo de trabajo (remolque sobre cabo, carnero, retenida, etc.) y el tipo de remolcador (propulsión convencional, hélice en tobera, propulsión cicloidal, propulsión Schottel, etc.) determinarán el tiro efectivo que es capaz de dar en cada situación. La pérdida de eficacia en el tiro con la velocidad debe estar necesariamente incluida en el modelo. Igualmente, debe contemplarse el retardo en la ejecución de las órdenes y el tiempo de incremento y reducción del tiro, así como el de desplazamiento del remolcador de una a otra posición si fuera necesario.

En este sentido, se dispone de diversos grados de calidad en la simulación de los remolcadores, que arrancan desde el modelo más simplificado de vectores (fuerza definida por su magnitud y dirección, sin considerar la mayoría de los aspectos mencionados), pasando por modelos avanzados (consideran de forma más o menos simplificada los parámetros citados y calculan de forma automática la fuerza disponible en cada momento), simulación interactiva simplificada (los patrones de remolcadores operan sobre modelos sencillos con vista de pájaro de la zona de maniobra) hasta simulación interactiva completa (cada remolcador dispone de su propio puente con instrumentación y visión exterior y opera un modelo dinámico (propulsión, gobierno, navegación y tiro) que interactúa con el del buque remolcado). Lógicamente, el objetivo del estudio determinará en cada caso la relevancia del remolque y la necesidad de acudir a un modelo más o menos avanzado.

## 9.4. PREPARACION DE UN ESTUDIO

Antes de acometer un estudio debe elaborarse cuidadosamente un programa que contemple la selección de «escenarios de maniobra» a analizar, entendiendo éstos como un combinación de buque, disposición del puerto o vía navegable y condición del clima marítimo (viento, oleaje, corriente, nivel de marea, etc.). La planificación de este proceso pre-



vio es extremadamente importante, especialmente en el caso de utilizar un simulador en tiempo real, debido a varios factores:

- El coste de la instalación es muy elevado.
- Los costes de personal son también importantes, pues se requiere la actuación coordinada de un equipo de ingenieros, prácticos o capitanes y especialistas en informática.
- Para cada entorno, buque y tipo de maniobra deben efectuarse varias repeticiones de la maniobra con objeto de obtener una muestra estadísticamente aceptable.
- El uso del simulador consume períodos de tiempo largos debido a la forma de trabajo en tiempo real.

La elaboración de un estudio de maniobra requiere la construcción previa de un modelo matemático y gráfico de la zona a estudiar, en el que se determina la siguiente información de entrada:

Características de propulsión, gobierno y maniobrabilidad del buque o buques

- Batimetría y niveles de agua.
- Definición del canal de navegación.
- Campo de corrientes.
- Campo de viento.
- Campo de oleaje.
- Definición de los remolcadores.
- Definición (en su caso) de los parámetros del piloto automático.
- Definición (en su caso) del controlador de los remolcadores.
- Trayectoria objetivo (para el piloto automático).
- Contorno de radar (costa, puerto, boyas, etc.).
- Información gráfica del puerto (costa, diques, muelles, faros, boyas, buques atracados, etc.) basada en planos, cartas, fotografías, etc.

Las características de maniobrabilidad de los buques, expresadas mediante un juego de coeficientes hidrodinámicos, se determinan mediante ensayos con modelo físico en canal y se incorporan como un fichero de datos específico para cada barco. Los resultados se contrastan con los tests de maniobrabilidad habituales (círculo de evolución, maniobra de zigzag, etc.), de modo que se asegure la correcta reproducción del comportamiento del buque.

## 9.5. DESARROLLO DE LAS MANIOBRAS SIMULADAS

En los modelos dotados de piloto automático, como se ha indicado, se define previamente una trayectoria objetivo, considerada óptima. Durante la ejecución del programa, se evalúa la desviación (posición y rumbo) con respecto a esta trayectoria, y el algoritmo de control selecciona las órdenes de máquina y timón adecuadas para corregir el error. Algunos modelos permiten preseleccionar las órdenes a las máquinas y al timón en subtramos o puntos concretos de la trayectoria. Una vez efectuada esta definición previa el proceso se realiza automáticamente, sin intervención humana, de forma repetida en el tiempo. Por este motivo, la duración de la maniobra depende exclusivamente de la potencia de cálculo del ordenador. Como indicación, una maniobra del orden de una hora de duración real puede ejecutarse en pocos segundos en un ordenador personal. De ahí la denominación de modelos acelerados («fast-time»).

Por el contrario, en los simuladores avanzados se dan dos características fundamentales:

- La interactividad hombre-máquina.
- La actuación en tiempo real.

Es decir, se incluye al hombre en el ciclo percepción-toma de decisiones-comunicación-ejecución-verificación:

- *Percepción* de información visual (posición y velocidad del buque a través de la imagen exterior del puerto y la pantalla de radar) e instrumental (indicadores de rpm de la máquina, ángulo de timón, rumbo, corredera, sonda, velocidad y dirección del viento, etc.).
- *Toma de decisiones* a partir de la información instantánea y su comparación con la estrategia predefinida, que se concreta en acciones de máquina, timón, hélice de maniobra auxiliar y remolcadores.
- *Comunicación* de las órdenes al timonel y los remolcadores, proceso que debe realizarse con la máxima claridad y comprobando la correcta comprensión de aquéllas.
- *Ejecución* de las órdenes sobre los elementos de control disponibles en el puente (palancas, botones, etc.) o en el panel de remolcadores situado en la sala de control.
- *Verificación* de las órdenes mediante la respuesta oral del timonel y/o el patrón de remolcadores y la propia respuesta física del buque.

El uso de un simulador consume períodos de tiempo largos por trabajar en tiempo real. Es decir, la maniobra simulada dura exactamente lo mismo que en condiciones reales. De este modo, se permite que el proceso percepción-evaluación-toma de decisiones tenga lugar en condiciones normales.

Este ciclo se repite de forma continuada durante la simulación hasta que acaba la maniobra. El final de la simulación se determina bien por la llegada del buque al muelle o zona prevista con velocidad controlada, por la constatación de la imposibilidad de realizar la maniobra analizada, o por la ocurrencia de una colisión o varada de consecuencias graves. En el caso de un accidente de menor importancia la maniobra continúa en la mayor parte de los casos, con el fin de obtener información sobre los límites de actuación del práctico.

Habitualmente, hay al menos dos personas en el puente durante la simulación. Cada una de ellas juega un papel prefijado en el desarrollo de la maniobra:

- *Práctico*: Tiene el mando del buque durante la maniobra. Ha decidido previamente la estrategia de actuación y la lleva a cabo, dando órdenes al timonel sobre el uso de la máquina (avante-parada-atrás y régimen), el timón y la hélice de proa. Igualmente, se comunica a través de la radio VHF con los remolcadores, estableciendo cuántos y en qué posiciones han de operar y solicitando su actuación durante el transcurso de la maniobra.
- *Timonel*: Es un puro ejecutor de las órdenes del práctico acerca del uso de la máquina y el timón. Está obligado a repetir en voz alta sus órdenes a fin de garantizar su correcta comprensión.

A ellas se añade el instructor o controlador, situado fuera del puente, que verifica la operación del propio sistema de simulación y ejecuta un papel auxiliar en la operación de remolcadores, comunicación desde un centro VTS, control de otros buques simulados, etc.

Con el fin de incorporar en la simulación la aleatoriedad del comportamiento humano, se llevan a cabo vanas simulaciones en cada condición de maniobra, en general entre 8 y 15, recomendándose en esta ROM efectuar entre 12 y 15 simulaciones para proyectos definitivos.

Los resultados de cada simulación, ya sea interactiva o con piloto automático, se almacenan en un fichero resumen en el disco del ordenador, donde se listan secuencialmente las variables principales: posición, rumbo y velocidad del buque en cada instante, acciones sobre la máquina y el timón, uso de remolcadores, fuerzas ambientales, etc. Esta información permite acometer posteriormente un análisis detallado de la ejecución de la maniobra.

## 9.6. ANALISIS DE RESULTADOS

Los operadores de los simuladores disponen habitualmente de herramientas informáticas que permiten obtener varias representaciones de los resultados de las simulaciones:

- *Gráfico de trayectoria*, en un dibujo bidimensional que recoge el contorno del puerto y la posición del buque a intervalos de tiempo prefijados. Ver figura 9.04.
- *Tablas de valores instantáneos* de diferentes variables (tiempo transcurrido, distancia recorrida, ángulo y velocidad de giro del timón, revoluciones del motor, componentes de la velocidad del barco, fuerzas de remolcadores, etc.) a lo largo de la simulación.
- *Gráficos de series temporales* de las variables anteriores, pudiendo superponer varias series correspondientes a diferentes simulaciones. Ver figura 9.05.
- *Gráficos estadísticos de variables*. Agrupando distintas simulaciones de una misma condición, se dibujan los valores medios y desviaciones estándar de cada variable en cada punto del recorrido del buque. De este modo, pueden obtenerse indicaciones sobre las tendencias de actuación en cada zona (uso de la máquina, velocidad del buque, etc.).
- *Gráficos del área ocupada* por el buque. En un dibujo bidimensional se presentan el contorno del puerto y la senda ocupada por el buque durante su navegación. Hay diversas variantes, pudiendo dibujar el área ocupada en una simulación en particular, la envolvente de varias realizaciones de la misma condición o incluso una interpretación probabilística del área ocupada, asociando una determinada distribución a los bordes.

Utilizando esta información, pueden llevarse a cabo dos tipos de análisis: El primero, denominado «valoración experta» («expert rating»), se refiere a cada ejecución en particular, se basa en la experiencia de ingenieros, capitanes y prácticos, y se concreta en la evaluación de aspectos específicos de la maniobra: velocidad en determinados puntos de referencia, distancias a los límites del canal, nivel de uso de los medios de maniobra (propulsión y timón), requerimientos de remolcadores, etc. Las apreciaciones del práctico que realiza la maniobra tiene, evidentemente, un peso fundamental en este proceso de valoración.

Examinando estas variables puede evaluarse la dificultad de la maniobra y la influencia de cada uno de los factores involucrados, obteniéndose una valiosa información útil para mejorar la estrategia de actuación. Este sistema de valoración es generalmente el único aplicable a los modelos de piloto automático que no dispongan de instrucciones que permitan predefinir el factor humano.

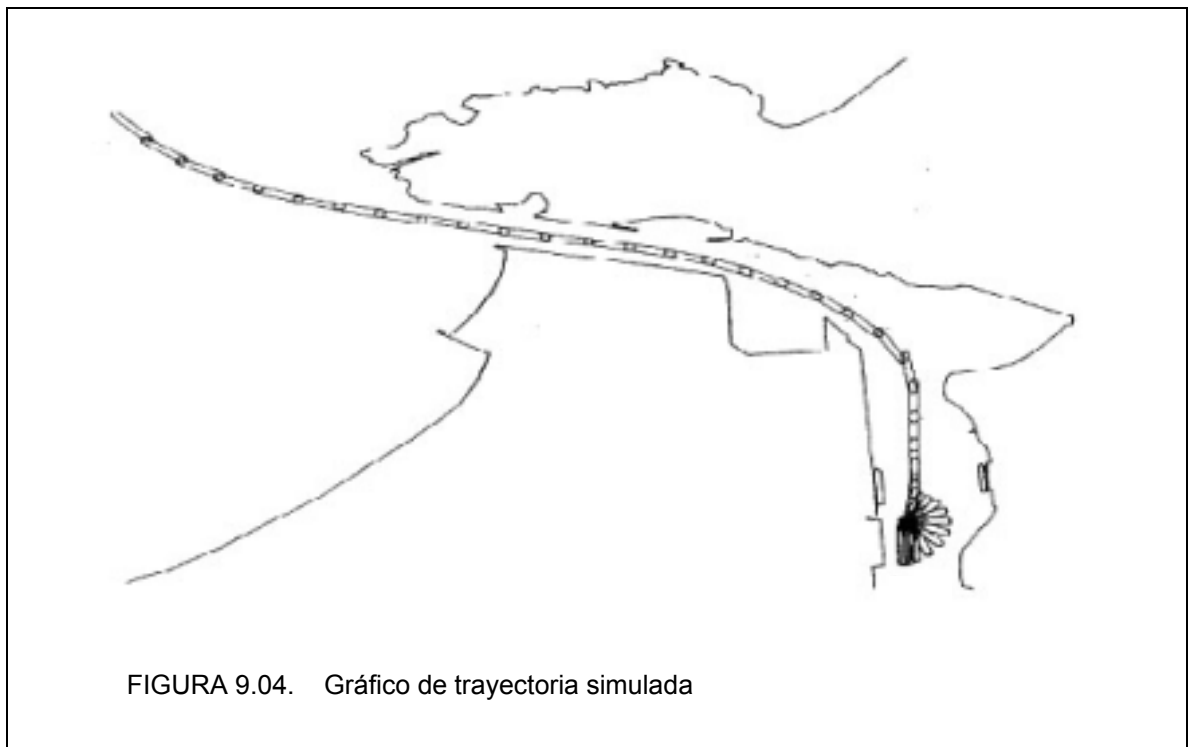


FIGURA 9.04. Gráfico de trayectoria simulada

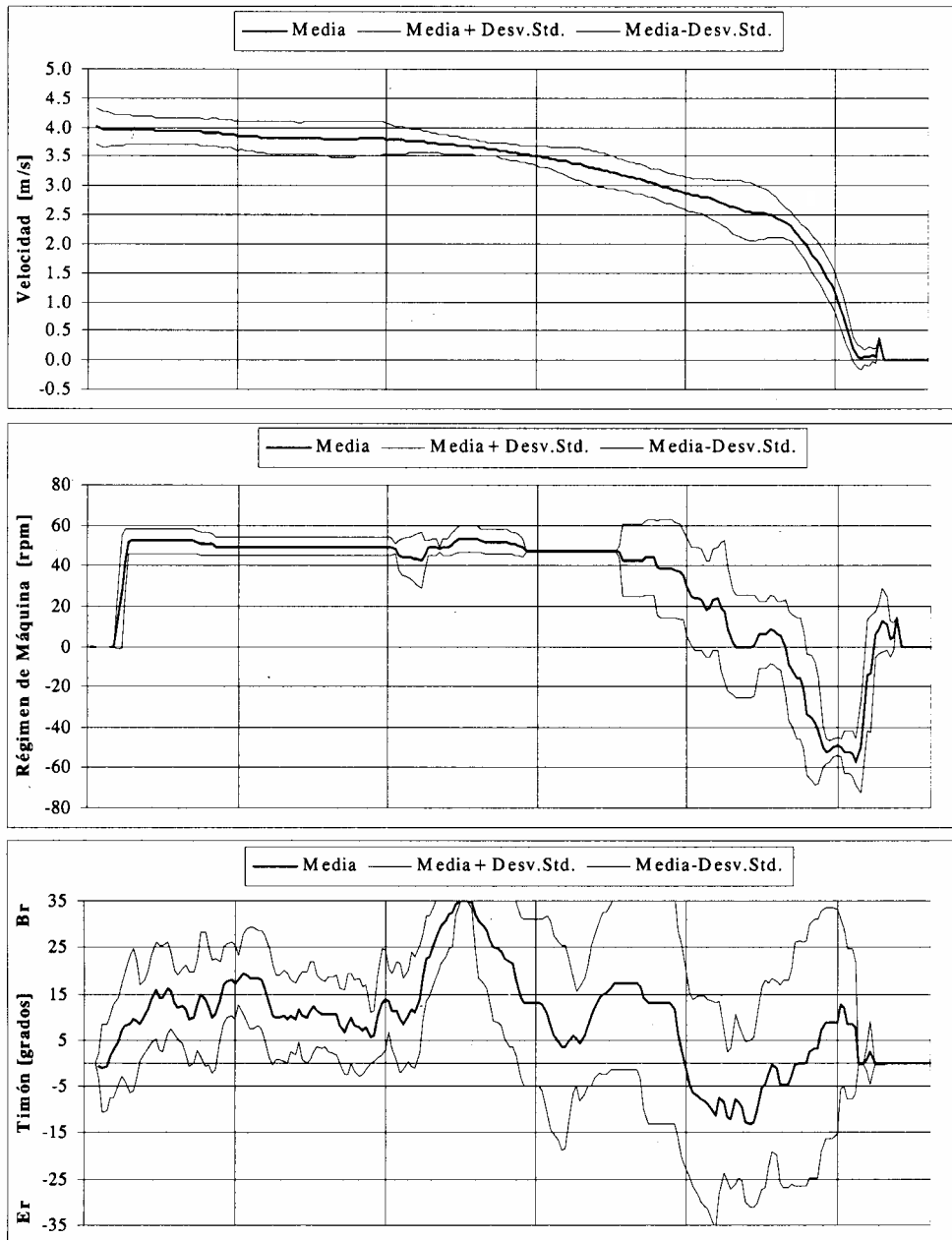


FIGURA 9.05. Gráficos de series temporales (velocidad, régimen de máquina, ángulo de timón)

También es posible realizar un análisis estadístico más detallado de las distintas fases de la maniobra en el caso de contar con un número suficiente de repeticiones en un simulador interactivo. Se contemplan aquí tanto las acciones de control ejecutadas durante la simulación (uso de máquina, timón, hélices de maniobra y/o remolcadores) como la respuesta del buque (posiciones y velocidades, derrota, distancias de paso a obstáculos, etc.).

Desde el punto de vista método semiprobabilístico de dimensionamiento recomendado en esta ROM, es muy importante el estudio del área ocupada por el buque durante su recorrido y su interferencia con los límites de la zona navegable. Así, se pueden valorar cualitativa y cuantitativamente los siguientes aspectos:

- Cuáles son los puntos críticos de la trayectoria.
- Cuál es el riesgo de accidente en cada zona.

- Cuál es la dificultad comparada de distintas disposiciones de bocanas, canales o zonas de maniobra.
- Qué influencia tienen las condiciones meteorológicas climáticas.
- Cual es el dimensionamiento resultante en cada caso.

Para el análisis del área ocupada por el barco durante la maniobra se define una trayectoria de referencia, sobre la que se marcan distancias recorridas. A su vez, en esta trayectoria se fijan secciones transversales, en cada una de las cuales se define el ancho navegable.

Tras cada simulación de una maniobra, se almacenan en disco las posiciones sucesivas del buque. Concretamente, en cada sección de las anteriores se conocen las posiciones del extremo de babor del buque (proa o popa), de su centro geométrico y del extremo de estribor (proa o popa). De este modo, puede calcularse el área ocupada por el buque en su evolución como la envolvente de las diferentes posiciones de sus extremos. Una vez repetida la maniobra varias veces en las mismas condiciones, puede asignarse una distribución estadística (generalmente normal) a la posición de estos tres puntos, que permite explicar estadísticamente el área ocupada por el buque.

La probabilidad de colisión o invasión en cada una de las secciones puede calcularse entonces entrando con los límites laterales de la zona navegable en las sucesivas distribuciones. La cola inferior (por babor) o la cola superior (por estribor) darán la probabilidad de navegar — en cada sección considerada — por fuera de la zona segura y un Indicador aproximado de cuáles son las zonas de riesgo y en qué medida. Ver figura 9.06.

Como se indicaba más arriba, pueden entonces construirse varios tipos de gráficos de resultados:

- *Envoltentes*: Senda obtenida como la envolvente de todas las simulaciones realizadas, o eliminando la maniobra más extrema en cada sección. Ver figura 9.07.
- *Trayectoria media del buque*: Línea con la posición media del centro del buque en cada sección.

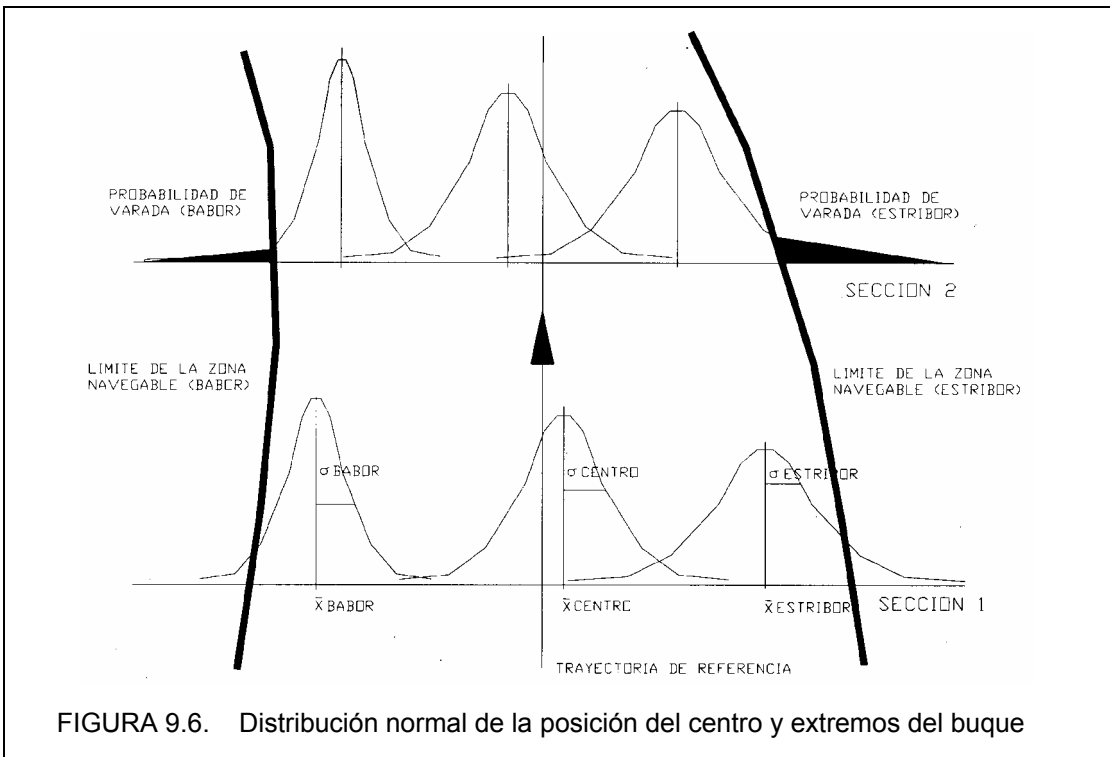


FIGURA 9.6. Distribución normal de la posición del centro y extremos del buque

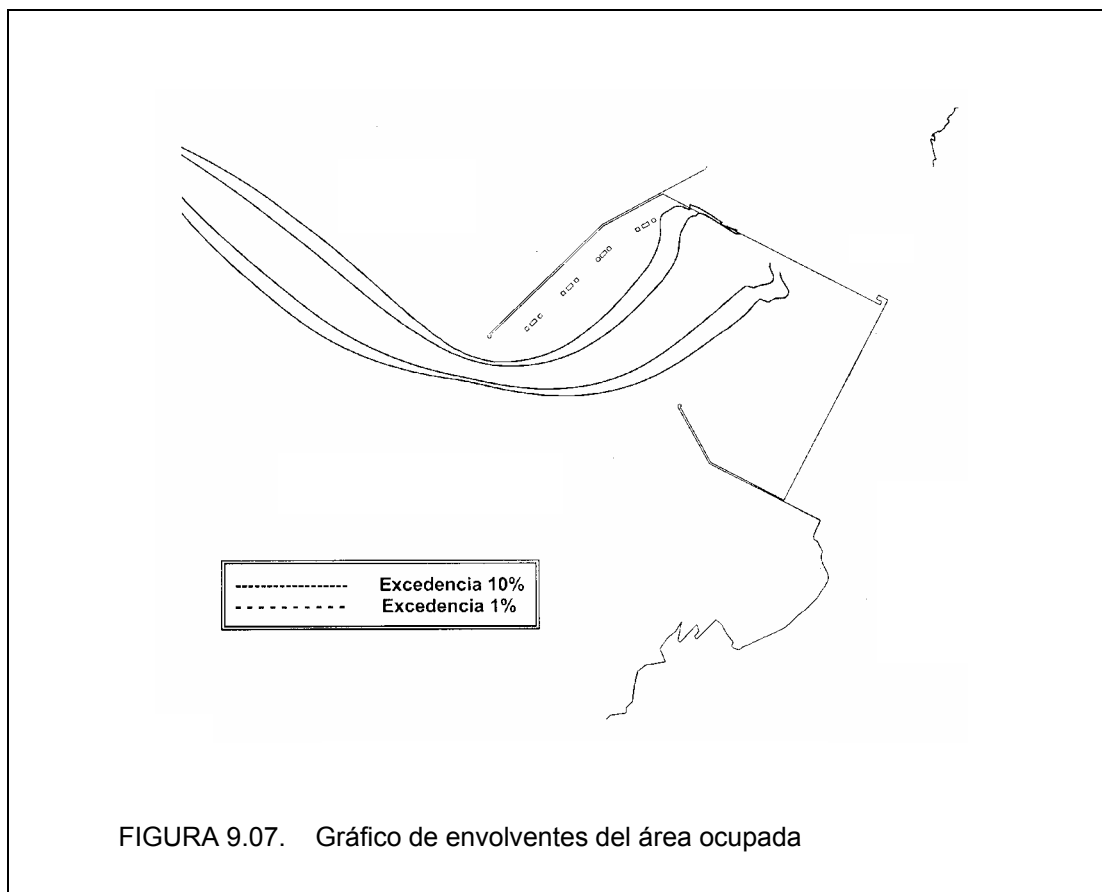


FIGURA 9.07. Gráfico de envolventes del área ocupada

- *Área ocupada con determinada probabilidad de excedencia:* Fijado un valor de probabilidad de excedencia, pueden dibujarse las líneas de borde del área ocupada correspondientes, según la distribución considerada para los extremos del buque. Así, el área 1 % recogerá las posiciones extremas de los costados del buque asociadas al 1% de probabilidad de excedencia, es decir, 1 buque de cada 100 sobrepasará los límites de esa zona al realizar la maniobra en las condiciones simuladas. Ver figura 9.08.
- *Bandas de confianza de las líneas de excedencia:* Basándose igualmente en la distribución considerada para los bordes del área ocupada, pueden construirse las curvas con la banda de confianza al nivel deseado de la curva de excedencia anterior.

Estos gráficos permiten apreciar rápidamente las zonas de riesgo en la maniobra y comparar la ejecución con diferentes buques o bajo distintas condiciones de clima marítimo.

En todo caso, para interpretar los resultados que se presentan, es fundamental tener en cuenta un principio estadístico básico: la población a analizar en el estudio es el total de las maniobras posibles en las condiciones definidas. Sobre ellas se ha extraído una muestra, consistente en un número limitado de repeticiones simuladas de cada maniobra.

La distribución estadística obtenida para la muestra no es la que corresponde a la población total, sino solamente una estimación de ésta. En otras palabras, todos los estadísticos anteriormente expuestos (medias, desviaciones, valores de excedencia, etc.) no deben tomarse como valores fijos, sino afectados de una cierta variabilidad alrededor de los valores medios estimados.

Al aumentar el tamaño de la muestra (número de simulaciones), se reduce lógicamente la variabilidad de los resultados y la distribución muestral se aproxima más a la de la población. Ahora bien, el incremento de tamaño de la muestra supone un coste importante en horas de simulación, por lo que se debe buscar un equilibrio entre la precisión de los resultados y el coste de su obtención.

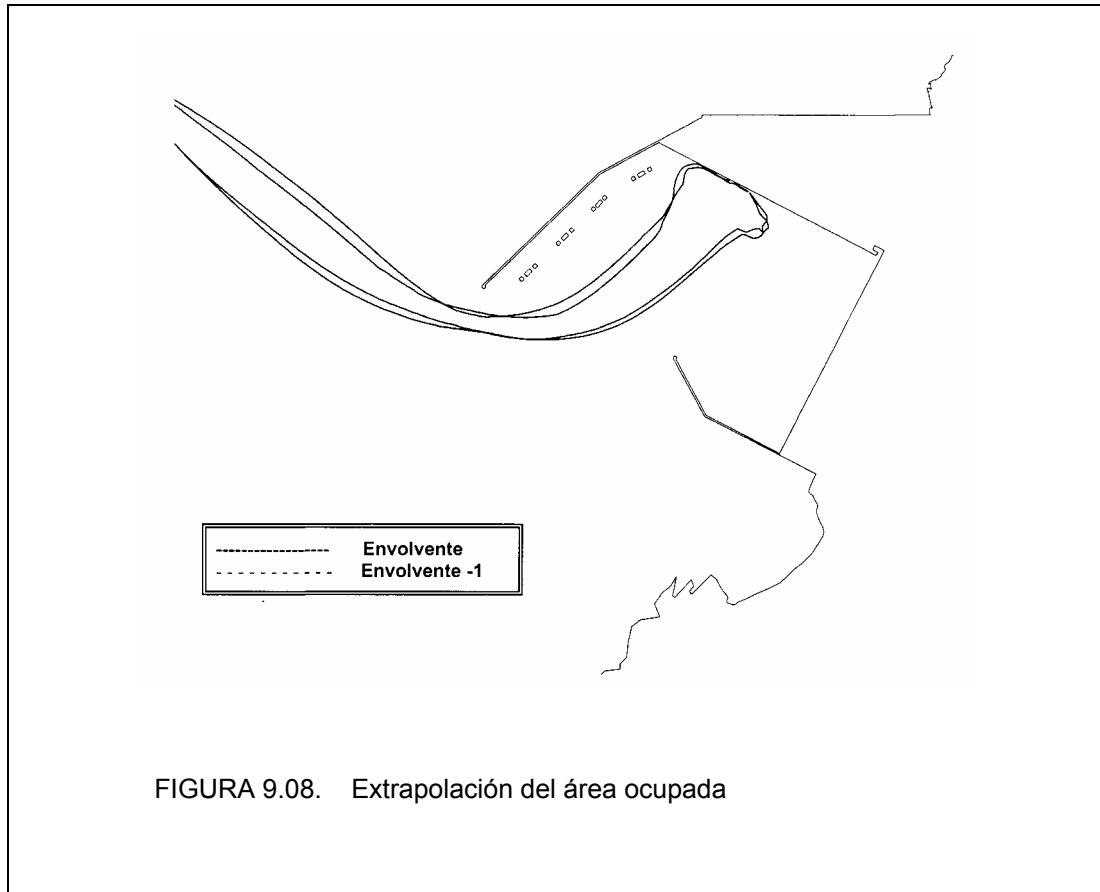


FIGURA 9.08. Extrapolación del área ocupada

## 9.7. VENTAJAS E INCONVENIENTES

La aplicación de estas herramientas tiene importantes ventajas tanto para el campo de la Ingeniería Portuaria como para el de la navegación y practica, entre las que cabe citar:

- Permiten analizar las condiciones de proyecto o de operación de vías de navegación y zonas de maniobra en áreas portuarias con una alta especificidad (topografía y batimetría, condiciones meteorológicas, buque, procedimientos establecidos de operación, particularidades locales, etc.).
- Los modelos de piloto automático son deterministas, al eliminar la actuación del hombre durante la maniobra. Por ello, este tipo de simuladores está especialmente indicado para el análisis del proyecto de obras portuarias en casos que no conlleven la realización de maniobras complejas, puesto que asegura un comportamiento uniforme y permite comparar de forma coherente diversas alternativas de proyecto o condiciones de ejecución de la maniobra.
- Dado que requieren una moderada capacidad de cálculo, pueden implementarse sobre ordenadores de bajo coste.
- Las maniobras se desarrollan de forma acelerada, por lo que cabe la posibilidad de realizar un gran número de simulaciones en poco tiempo. En consecuencia, permiten realizar estudios sencillos de una forma relativamente barata y rápida.
- Los resultados obtenidos utilizando modelos matemáticos de piloto automático son de mayor precisión que los basados en reglas empíricas. A su vez, la aplicación de un simulador interactivo aporta una información de mayor riqueza y exactitud.
- El uso de un modelo interactivo incorpora la influencia del factor humano en el desarrollo de las maniobras. Este análisis es más valioso si el simulador trabaja en tiempo real.
- La concurrencia de prácticos, capitanes e ingenieros portuarios en el proceso de diseño conduce a un análisis mucho más completo del problema.

- A partir de los resultados de la simulación puede desarrollarse un conjunto detallado de normas o recomendaciones de acceso al puerto teniendo en cuenta los tipos y dimensiones de los buques, las condiciones climáticas y el uso de los remolcadores. En definitiva, puede llegar a evaluarse con mayor precisión al cierre del puerto por motivos físicos y meteorológicos.
- Es posible realizar un análisis de riesgo para las maniobras basado en métodos estadísticos particularmente desarrollados para este propósito.
- El uso de simuladores permite acelerar, en los aspectos directamente relacionados con el modelo, la formación de Oficiales de Marina Mercante y Prácticos mediante el uso de una herramienta técnica de alta calidad y bajo coste comparado con el uso de un buque real.
- Un simulador de maniobra de buque es una herramienta enormemente útil para la formación continua de prácticos y capitanes en ejercicio, por su capacidad de reproducir situaciones nuevas, extremas o de emergencia manteniendo los distintos parámetros bajo control.
- Los sistemas de simulación están fundamentalmente basados en equipos informáticos, en los que tienen un peso elevado tanto la potencia de cálculo numérico como los sistemas de tratamiento de gráficos. Se trata de campos que están experimentando un vertiginoso crecimiento, lo que permite augurar un futuro de enorme desarrollo.

El inconveniente principal para la utilización de modelos acelerados «fast-time» es su escasa aplicabilidad en maniobras complicadas, donde hay una actuación importante y continua del piloto y de los remolcadores. En estos casos, los algoritmos de control resultan insuficientes y sus resultados deben analizarse con grandes reservas.

Por su parte, la aplicación de un simulador en tiempo real para estudios portuarios presenta también ciertos aspectos negativos o inconvenientes:

- Los simuladores son equipos costosos y de obsolescencia relativamente rápida, que requieren fuertes inversiones de adquisición y actualización.
- Se basan en tecnologías complejas, lo que supone disponer de equipos de técnicos muy especializados y establecer métodos de formación continua.
- Necesitan de la actuación coordinada de un equipo de ingenieros, prácticos, capitanes y especialistas en informática, lo que implica también importantes costes de personal.
- El desarrollo de un estudio completo y de calidad consume generalmente períodos de tiempo largos, si se desean cubrir múltiples escenarios de maniobra, pues de cada maniobra simulada se realiza un elevado número de repeticiones y en tiempo real.
- Se requiere, además, disponer de complejos métodos de análisis de resultados, que consumen recursos informáticos significativos.
- El modelo de comportamiento del buque es limitado. En muchos de los habitualmente utilizados faltan algunas fuerzas que pueden ser relevantes, como fondeo, colisión, succión de orilla u otras, o no están reproducidas con el suficiente detalle.
- En el mismo sentido, los coeficientes hidrodinámicos de los buques son necesariamente simplificados, no abarcan con la precisión suficiente la totalidad de las situaciones posibles, y además son difíciles de adquirir y desarrollar.

## **9.8. METODOLOGIA EMPLEADA EN EL SIMULADOR**

### **9.8.1. SELECCION DE CONDICIONES DE SIMULACION**

Para el desarrollo de un estudio basado en la simulación de maniobras es imprescindible establecer una buena metodología de trabajo, que incluya, entre otros aspectos:

- Elaborar una buena formulación del problema, con una completa recopilación de información general y local, que permita definir claramente los objetivos del estudio.
- Disponer de o construir un modelo hidrodinámico adecuado de los buques a estudiar.



- Analizar los fenómenos relevantes (corriente, oleaje, viento, succión de orilla, actuación de remolcadores, etc.) en el caso concreto objeto de estudio.
- Seleccionar un modelo matemático de agentes climáticos adecuado a esos fenómenos y suficientemente preciso.
- Analizar los factores de percepción trascendentes (referencias visuales o instrumentales, señalización, sistemas de posicionamiento, factores de visibilidad (luminosidad, niebla, lluvia, etc.), estimación de posición y velocidad, sonidos, movimientos, etc.).
- En función de los datos anteriores, realizar una adecuada selección de las condiciones a simular, que con el mínimo volumen de utilización del sistema proporcione el máximo de información útil.
- Seleccionar la herramienta (tipo de modelo o simulador) más adecuada para el análisis del problema específico, valorando especialmente las características del modelo matemático de maniobrabilidad, la instrumentación disponible y, en su caso, la calidad del sistema visual.
- Construir los modelos sintéticos de puerto-buque-remolcadores-condiciones climáticas, con la precisión y calidad suficiente. En este proceso, es fundamental mantener un estricto control de la configuración actualizada de cada uno de los escenarios, teniendo en cuenta el elevado número de parámetros involucrados.
- Decidir el número de prácticos que realizarán las simulaciones y sus características (ya sean locales, para disponer de un mejor conocimiento de la forma de trabajo habitual en el puerto en cuestión y ceñirse a las cualidades de quienes realmente gestionarán la situación; neutrales, ante situaciones que requieran especial objetividad; o una combinación de ambos en distintas fases del estudio).
- Seleccionar a los profesionales (ingenieros, capitanes, prácticos, etc.) que participarán en el estudio.

Una vez dispuesto el modelo y antes de pasar a realizar las simulaciones, es fundamental establecer una estrategia de actuación homogénea (condiciones de comienzo y final de las maniobras, referencias intermedias en su desarrollo (puntos de paso, velocidades, etc.), forma de utilización de remolcadores, etc.), que será seguida por todos los participantes en la simulación. En su caso, se decidirán de común acuerdo modificaciones o variantes de tal estrategia.

Ya en la fase de simulación, debe determinarse el orden y ritmo de ejecución de las maniobras. Tras una primera fase de familiarización con los diferentes escenarios seleccionados, de la que se descartarán las simulaciones realizadas, se acometerán las maniobras válidas para el estudio. Así puede eliminarse el «factor de aprendizaje», y llegar a esta etapa con la preparación suficiente y libres del sesgo que pueda establecer la acomodación al buque y puerto simulado.

En la ejecución de las sucesivas maniobras, deben evitarse secuencias preestablecidas (maniobras con dificultad creciente o decreciente, todas las maniobras bajo una condición realizadas de forma consecutiva, etc.), buscando por el contrario alternar de modo aleatorio las diferentes condiciones. De este modo, la calidad de los resultados obtenidos para cada condición será independiente de las demás. Como consecuencia, las diferentes simulaciones pueden ser suficientemente representativas de lo que cabe esperar en la situación real.

Otro aspecto a valorar es el ritmo de simulación. Debe ser lógicamente el mayor posible, a fin de obtener un uso eficaz de la instalación y reducir el plazo de realización del estudio, pero respetando siempre la eventual fatiga de los ejecutores de las simulaciones. Si esto ocurriera, los resultados presentarían también tendencias dispersas que deben evitarse.

### **9.8.2. NUMERO DE SIMULACIONES POR CONDICION**

Uno de los aspectos a considerar es el número de simulaciones que es necesario realizar en cada escenario de maniobra. Lógicamente, un mayor número de repeticiones de las maniobras aportará una información más precisa sobre los límites específicos de cada condición, pero debe equilibrarse con el coste de obtención de los datos (horas de trabajo, utilización del sistema, tiempo de análisis de resultados, etc.).

En aquellos casos en que se busque valorar la viabilidad y dificultad de ejecución de determinadas maniobras, puede ser suficiente una muestra reducida. En este caso, el análisis estadístico de los resultados será poco representativo, y deberá darse el mayor peso a la interpretación de los capitanes o prácticos involucrados, basada lógicamente en su experiencia.

Por otra parte, un estudio orientado al dimensionamiento de canales, bocanas o zonas de maniobra o a la valoración del nivel de riesgo requiere la realización de un elevado número de simulaciones en cada condición, si se busca un grado de precisión y fiabilidad suficiente. Es recomendable, a la vista de algunas experiencias, repetir la maniobra en cada escenario de simulación un mínimo de 8-10 veces. Son claros los beneficios derivados de un mayor número de simulaciones (12-15 o más), que habrá que valorar en cada caso contra el coste de ejecución del estudio. En todo caso, debe desarrollarse un análisis crítico de los resultados, con el fin de determinar los márgenes de error en los valores obtenidos. La metodología utilizada habitualmente, en la que se determinan las líneas de excedencia del área ocupada ligadas a determinados niveles de probabilidad y sus bandas de confianza, permite valorar las dimensiones de las áreas navegables y su grado de indeterminación.

### 9.8.3. NIVEL DE EXCEDENCIA

Otro aspecto a considerar es la determinación del nivel de excedencia a tomar como umbral en el análisis del área ocupada durante las maniobras simuladas. Este proceso comenzará normalmente con el establecimiento de un riesgo admisible en la vía navegable, ligado a una serie de condicionamientos que se analizan en la parte 2 de esta ROM. Las distribuciones que allí se fijan permiten relacionar el nivel de riesgo a lo largo de la vida útil con la probabilidad de fallo individual.

En este sentido, el concepto de «fallo» se refiere a la salida de los márgenes de la vía navegable (varada o colisión con estructuras laterales) o área de flotación que se analice por las meras dificultades de gobierno del buque, y no a eventuales fallos de operación en la máquina, el timón o ambos, ni a errores o averías en la actuación de los remolcadores. Estos últimos aspectos requieren métodos de análisis diferentes.

Para la determinación de la vida útil de la vía navegable o Área de Flotación se seguirán los criterios establecidos en la Parte 2 de esta ROM, diferenciando, según el tipo de área que se analice y el nivel de seguridad requerido. De este modo, puede recogerse la influencia de tres factores decisivos en la definición de la seguridad de los Accesos y Áreas de Flotación:

- *Las características físicas de la zona:* Se valora en este punto la probabilidad de que una varada o colisión se traduzca en daños al buque (fondos blandos (arenosos), que reducen las consecuencias del fallo, o de roca, que actúan en sentido contrario; márgenes de canal rígidos (taludes de escollera o muros de gravedad) o deformables (orillas naturales de materiales blandos, etc.).
- *El tipo de tráfico:* Puede tener una influencia drástica sobre las consecuencias derivadas de un accidente (productos contaminantes, inflamables o peligrosos, que darían lugar a vertidos, escapes, incendios o explosiones; pasajeros, que constituyen un tipo de tráfico especialmente sensible, etc.).
- *El entorno de la vía navegable:* Debe sopesarse aquí la existencia de zonas habitadas, instalaciones en áreas industriales o espacios de valor medioambiental destacado en las proximidades de la zona de navegación que pudieran sufrir las consecuencias de un eventual accidente. Igualmente, la trascendencia en relación al resto del tráfico del puerto (cierre por bloqueo de un canal o bocana estrecho ante la presencia de un buque varado o hundido, etc.).

Una vez determinada la vida útil, el número total de maniobras a desarrollar vendrá dado por la frecuencia de buques de las condiciones de proyecto que accedan al puerto. Este dato se obtendrá de estadísticas de tráfico real o de estimaciones de tráfico, según los casos, que deben ser aportados por la Autoridad Portuaria, concesionario u operador correspondiente.

El nivel de riesgo admisible queda definido como la probabilidad de que se produzca al menos un fallo a lo largo del período de utilización del área que se considere. Siguiendo igualmente los criterios establecidos en la Parte 2 de esta ROM, puede distinguirse riesgo de iniciación de averías frente a destrucción total. La primera situación sería la más comparable en el caso de varada o colisión en maniobras a baja velocidad o en zonas con márgenes blandas, donde es poco probable que el buque llegue a sufrir daños severos.

En consecuencia, una vez determinados el nivel de riesgo admisible, la vida útil y la frecuencia de tráfico esperable bajo un determinado escenario de condiciones climáticas, lo que produce un número de maniobras efectuadas en tal escenario, puede determinarse la probabilidad de excedencia de las márgenes de la vía de navegación o área que se considera en una maniobra individual.

Es difícil y costoso desarrollar un análisis completo del nivel de riesgo. En efecto, deben establecerse una serie de escenarios, combinaciones de las siguientes variables:

- Clima marítimo: Oleaje (direcciones, períodos, alturas).  
Viento (dirección, velocidad).  
Marea (nivel de agua, corrientes resultantes).
- Visibilidad: Día-noche.  
Niebla.
- Buque: Tipo.  
Dimensiones.  
Condición de carga.

que representen de modo global las condiciones de maniobra locales. Esto se hará para las diferentes alternativas de definición:

- Puerto: Disposición en planta.  
Profundidad de agua.  
Ayudas a la navegación (señalización, enfilaciones, control de tráfico).
- Normas operativas: Uso de remolcadores.  
Profundidad mínima de agua.  
Tráfico concurrente, etc.

En general, el número de escenarios debe limitarse, seleccionando aquéllos más representativos por la combinación de su frecuencia y severidad.

Así pues, una vez calculada la probabilidad de accidente en cada situación individual, a partir de los resultados de las simulaciones, puede valorarse el riesgo total durante la vida útil del área con los procedimientos indicados en la Parte 2 de esta ROM. Con este procedimiento no se obtendrá una valoración completa y precisa del riesgo pero sí una estimación útil efectuada del lado de la seguridad y especialmente sobre todo a efectos comparativos.

#### **9.8.4. DISTRIBUCION ESTADISTICA DE LOS BORDES DEL AREA OCUPADA**

Los métodos de análisis de resultados más habituales consideran las diferentes secciones de paso por la vía de navegación como independientes unas de otras, y tienen como objetivo definir las distribuciones individuales por las bandas de estribor y babor que delimitan el ancho del área ocupada. Lo más habitual es utilizar una distribución normal, ajustada en cada sección de cálculo a partir de la media y la desviación de las distancias al eje de la vía o al borde de la misma. Se trata de una distribución manejable pero simétrica, que no encaja exactamente con el concepto que se analiza. En efecto, dada la presencia del práctico o capitán y como consecuencia de sus acciones de control, es lógico esperar que se produzca una mayor tendencia a ir hacia el centro del canal que hacia los bordes, evitando situaciones de riesgo, por lo que deberían considerarse distribuciones de menor simetría. En segundo lugar, el interés del proyectista es evaluar la posición de los valores extremos, ligados a probabilidades de excedencia reducidas.

Por este motivo, puede ser interesante trabajar con otro tipo de distribuciones: La distribución de Weibull, triparamétrica, permite una mejor calidad de ajuste a los datos simulados, lo que produce resultados más fiables. Además, al no ser simétrica se aproxima mejor al problema que se quiere describir. En general, da lugar a anchuras de cálculo algo más estrictas. Tanto la distribución de Rayleigh como la de Gumbel proporcionan igualmente buenos resultados.

En ciertos casos se manejan formulaciones más complejas (Pearson tipo III, por ejemplo) o se mide la desviación con respecto a una distribución gaussiana, por medio de la estimación del sesgo o la kurtosis.

Es conveniente, sin embargo, analizar con detalle cada caso, pues las condiciones particulares de la maniobra impondrán restricciones a la actuación del práctico, afectando lógicamente a la muestra estadística.

### 9.8.5. OTROS METODOS DE CALCULO

Existen otros métodos basados en un enfoque diferente, que presuponen la interdependencia de secciones de paso sucesivas. El objeto del análisis es construir un modelo que relacione el punto de paso por una sección (distancia al borde de la vía navegable) con el correspondiente a la sección anterior o anteriores, basándose en los resultados de las diferentes simulaciones. Esta aproximación al problema no presupone la forma de la distribución de los puntos de paso, sino que intenta deducir los parámetros de actuación del práctico y la capacidad de respuesta del buque bajo los condicionantes climáticas y los medios de maniobra disponibles. En efecto, siendo  $y_{xi}$  la distancia al borde en la sección  $x$  del canal obtenida en la simulación  $i$ , puede establecerse un modelo de regresión lineal:

$$Y_x = A_a + B_a \times Y_{x-1} + Z_x$$

un modelo de regresión cuadrática:

$$Y_x = A_a + B_a \times Y_{x-1} + C_a \times Y_{x-1}^2 + Z_x$$

o incluso un modelo autorregresivo (AR):

$$Y_{xi} = A_g + B_a \times Y_{x-1} + C_a \times Y_{x,i-1} - B_a \times C_a \times Y_{x-1,i-1} + Z_{x,i}$$

Los parámetros  $A_a$ ,  $B_a$ ,  $C_a$  se obtienen con un ajuste por mínimos cuadrados, y  $Z_x$  es una variable aleatoria distribuida normalmente según el error cuadrático medio del ajuste.

Los parámetros del ajuste vendrán determinados por las acciones del práctico y la respuesta efectiva del buque en las condiciones de ejecución de la maniobra. Lo normal sería que respondieran a varios principios de actuación: Cuando el buque está centrado en la vía navegable, las acciones de control no son muy intensas, y los puntos  $(y_x, y_{x-1})$  presentarán una gran dispersión. Al acercarse al borde de la vía en una sección, lo deseable es corregir el punto de paso en la siguiente, es decir,  $Y_{x-1} > Y_x$ , o lo que es lo mismo,  $B_a < 1$  en el modelo de regresión lineal, con una menor dispersión de los datos. Si el buque ha llegado a las proximidades del borde de la vía en una sección, debe haber corregido esta situación en la siguiente, so pena de exceder los límites de la zona navegable, lo que se traduce en  $A_a > 0$  (modelo lineal). Finalmente, las acciones de control son lógicamente más intensas cuanto más próximo está el buque al borde de la vía, lo que explica la conveniencia de utilizar en algunos casos formulaciones cuadráticas con  $C_a > 0$ .

La metodología de actuación en este caso tiene tres fases: En primer lugar, se realizan las simulaciones interactivas que serán base para los cálculos posteriores; Después, se realizan los ajustes y se calculan los parámetros en cada una de las secciones, con lo que queda definida la «conducta» del sistema práctico-buque; Finalmente, se pasa a simular numéricamente, normalmente por el método de Montecarlo, un elevado número de maniobras realizadas bajo esos condicionantes, lo que permite evaluar el riesgo de cada situación y los puntos críticos.

La limitación fundamental de estos métodos es que requieren la ejecución de un mayor número de simulaciones en tiempo real. En efecto, ya que se busca definir el comportamiento en los bordes de la vía navegable, es necesario disponer de datos que efectivamente se sitúen cerca de las márgenes. La gran mayoría de las maniobras simuladas acabarán normalmente con éxito, con posiciones del buque cerca del eje, por lo que, por una parte, habrá pocos datos interesantes, pero además, un alto número de datos dispersos alterará la calidad del ajuste en los bordes.

Otra metodología avanzada se basa en utilizar cadenas de Markov para describir no sólo el punto de paso en una sección, sino también la tendencia de movimiento (hacia el eje o hacia el borde). Normalmente, se define una serie de celdas o «calles» en cada sección transversal, y se registra en cada simulación la «calle» ocupada y la relación con la «calle» correspondiente a la sección anterior (centrífuga, mantenida o centrípeta). Si se construye un modelo estadístico que describa adecuadamente estos parámetros, la probabilidad de fallo corresponderá evidentemente a la probabilidad de encontrarse en una «calle» exterior de la vía de navegación con tendencia centrífuga. Esta metodología requiere todavía un importante trabajo de desarrollo, pero además es muy costosa, pues supone una vez más un gran número de simulaciones.

**ANEJO I**

**MANIOBRAS DE BUQUES**

---



<b>I.1. NAVEGACION POR RIOS, CANALES Y VIAS NAVEGABLES (VIENTOS, OLEAJES O CORRIENTES DE TRAVES) .....</b>	<b>385</b>
<b>I.2. NAVEGACION EN CURVA EN RIOS O CANALES (CORRIENTE FUERTE EN CONTRA) .....</b>	<b>386</b>
<b>I.3. NAVEGACION EN CURVA EN RIOS O CANALES (CORRIENTE FUERTE A FAVOR) .....</b>	<b>387</b>
<b>I.4. NAVEGACION EN CURVA EN RIOS O CANALES (VIENTO DE POPA Y CORRIENTE FUERTE A FAVOR) .....</b>	<b>388</b>
<b>I.5. FRANQUEAR PASOS ANGOSTOS EN UNA VÍA NAVEGABLE (VIENTOS, OLEAJES O CORRIENTES TRANSVERSALES AL EJE DE LA VIA) .....</b>	<b>389</b>
<b>I.6. FRANQUEAR PASOS ANGOSTOS EN UNA VIA NAVEGABLE (VIENTOS, OLEAJES O CORRIENTES TRANSVERSALES AL EJE DE LA VIA). MANIOBRA ALTERNATIVA .....</b>	<b>390</b>
<b>I.7. GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS (TIEMPO CALMO: CONDICIONES CLIMATICAS QUE NO AFECTEN SIGNIFICATIVAMENTE A LA MANIOBRA) .....</b>	<b>391</b>
<b>I.8. GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS (VIENTO FUERTE DE PROA) .....</b>	<b>392</b>
<b>I.9. GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS (VIENTO FUERTE DE ESTRIBOR O DE LA AMURA DE ESTRIBOR) .....</b>	<b>393</b>
<b>I.10. GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS (VIENTO FUERTE DE TRAVES DE BABOR O DE LA AMURA DE BABOR) .....</b>	<b>394</b>

<b>I.11. GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS (VIENTO FUERTE DE LA ALETA DE ESTRI-BOR O DE LA ALETA DE BABOR) .....</b>	<b>395</b>
<b>I.12. GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS (VIENTO FUERTE DE POPA) .....</b>	<b>396</b>
<b>I.13. GIRAR UN BUQUE DE DOS HELICES EN ESPACIOS RE-DUCIDOS (TIEMPO CALMO: CONDICIONES CLIMATI-CAS QUE NO AFECTEN SIGNIFICATIVAMENTE A LA MANIOBRA, O VIENTO FUERTE EN CUALQUIER DIREC-CION) .....</b>	<b>397</b>
<b>I.14. GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON UN REMOLCADOR (TIEMPO CALMO: CONDICIONES CLI-MATICAS QUE NO AFECTEN SIGNIFICATIVAMENTE A LA MANIOBRA) .....</b>	<b>398</b>
<b>I.15. GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON UN REMOLCADOR (VIENTOS, OLEAJES O CORRIENTES FUERTES) .....</b>	<b>399</b>
<b>I.16. GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON DOS O MAS REMOLCADORES (VIENTOS, OLEAJES O CO-RRIENTES EN CUALQUIER DIRECCION) .....</b>	<b>400</b>
<b>I.17. GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON DOS O MAS REMOLCADORES (VIENTOS, OLEAJES O CO-RRIENTES EN CUALQUIER DIRECCION). MANIOBRAS ALTERNATIVAS .....</b>	<b>401</b>
<b>I.18. FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA (FONDEO EN TIEMPO CALMO CON ARRANCADA AVANTE) .....</b>	<b>402</b>
<b>I.19. FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA (FONDEO EN TIEMPO CALMO CON ARRANCADA ATRAS) .....</b>	<b>403</b>
<b>I.20. FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA (VIENTO FUERTE) .....</b>	<b>404</b>
<b>I.21. FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA (CO-RRIENTE FUERTE) .....</b>	<b>405</b>



<b>I.22. FONDEAR UN BUQUE CON DOS ANCLAS A LA ENTRANTE Y VACIANTE (VIENTOS O CORRIENTES ACTUANDO EN LA MISMA DIRECCION, PERO ALTERNATIVAMENTE EN SENTIDOS OPUESTOS) .....</b>	<b>406</b>
<b>I.23. FONDEAR UN BUQUE CON DOS ANCLAS A BARBAS DE GATO (VIENTOS O CORRIENTES EN CUALQUIER DIRECCION, PREFERENTEMENTE TRANSVERSALES A LA ALINEACION DE LAS ANCLAS) .....</b>	<b>407</b>
<b>I.24. SALIR DE UN FONDEADERO CON UN SOLO ANCLA (TIEMPO CALMO: CONDICIONES CLIMATICAS QUE NO AFECTEN SIGNIFICATIVAMENTE A LA MANIOBRA) O CON VIENTO .....</b>	<b>408</b>



El presente Anejo recoge unas fichas descriptivas de las maniobras más habituales de los buques que se realizan en las Areas de Navegación y Flotación objeto de esta ROM, ya sea en condiciones climáticas de tiempo calmo, o cuando existan las condiciones climáticas que puedan resultar más complejas para la maniobra que se considere. En particular se analizan las maniobras siguientes:

- NAVEGACION POR RIOS, CANALES Y VIAS NAVEGABLES (vientos, oleajes y corrientes de través).
- NAVEGACIÓN EN CURVA EN RIOS O CANALES (Corriente fuerte en contra).
- NAVEGACION EN CURVA EN RIOS O CANALES (Corriente fuerte a favor).
- NAVEGACION EN CURVA EN RIOS O CANALES (viento de popa y corriente fuerte a favor).
- FRANQUEAR PASOS ANGOSTOS EN UNA VIA NAVEGABLE (Vientos, oleajes o corrientes transversales al eje de la vía).
- FRANQUEAR PASOS ANGOSTOS EN UNA VIA NAVEGABLE (Vientos, oleajes o corrientes transversales al eje de la vía). Maniobra alternativas.
- GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS (Tiempo calmo: condiciones climáticas que no afecten significativamente a la maniobra).
- GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS (Viento fuerte de proa).
- GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS (Viento fuerte de través de estribor o de la amura de estribor).
- GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS (Viento fuerte de través de babor o de la amura de babor).
- GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS (Viento fuerte de la aleta de estribor o de la aleta de babor).
- GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS (Viento fuerte de popa).
- GIRAR UN BUQUE DE DOS HELICES EN ESPACIOS REDUCIDOS (Tiempo calmo: condiciones climáticas que no afecten significativamente a la maniobra, o viento fuerte en cualquier dirección).
- GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON UN REMOLCADOR (Tiempo calmo: condiciones climáticas que no afecten significativamente a la maniobra).
- GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON UN REMOLCADOR (Vientos, oleajes o corrientes fuertes).
- GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON DOS O MAS REMOLCADORES (Vientos, oleajes o corrientes en cualquier dirección).
- GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON DOS O MAS REMOLCADORES (Vientos, oleajes o corrientes en cualquier dirección). Maniobras alternativas.
- FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA (Fondeo en tiempo calmo con arrancada avante).

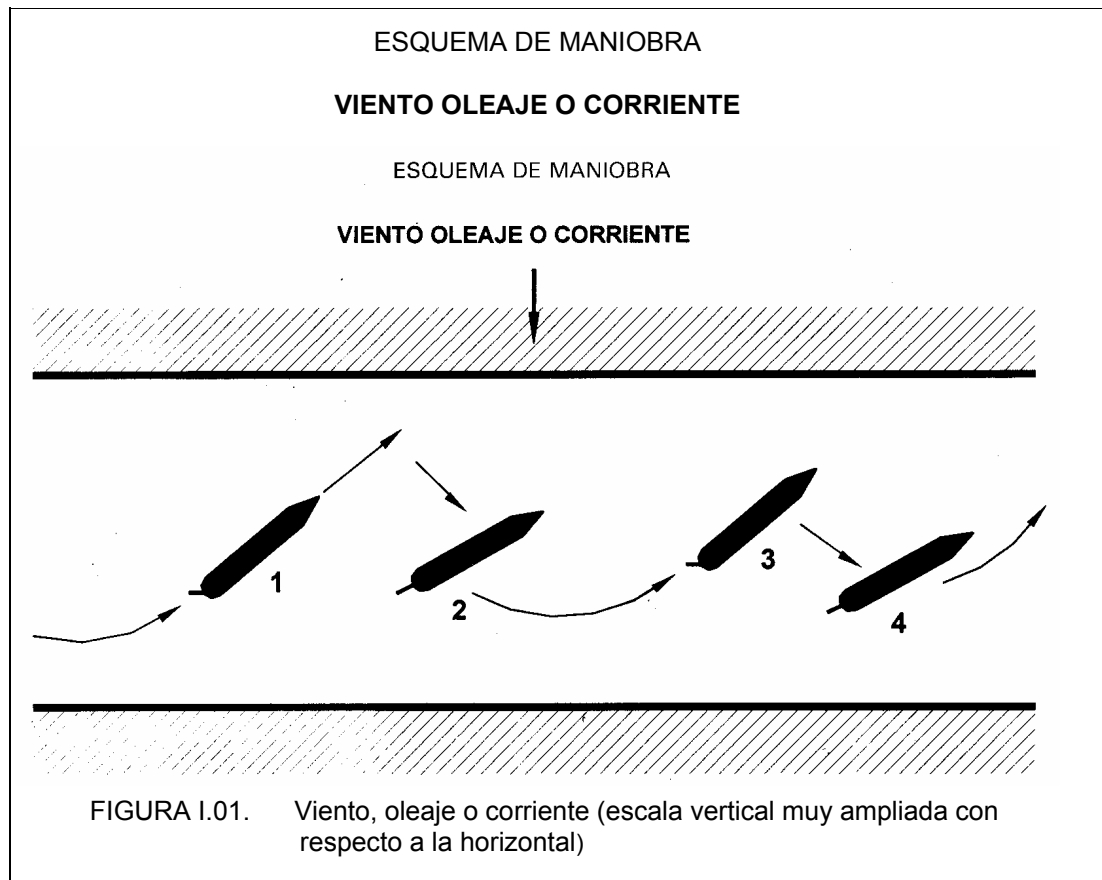
- FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA (Fondeo en tiempo calmo con arrancada atrás).
- FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA (Viento fuerte).
- FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA (Corriente fuerte).
- FONDEAR UN BUQUE CON DOS ANCLAS A LA ENTRANTE Y VACIANTE (Vientos o corrientes actuando en la misma dirección pero alternativamente en sentidos opuestos).
- FONDEAR UN BUQUE CON DOS ANCLAS A BARBAS DE GATO (Vientos o corrientes en cualquier dirección, preferentemente transversales a la alineación de las anclas).
- SALIR DE UN FONDO CON UN SOLO ANCLA (Tiempo calmo: condiciones climáticas que no afecten significativamente a la maniobra) o con viento.

En la práctica el número y tipo de maniobras diferentes a realizar es muy numeroso y su concreción deberá realizarse en cada caso concreto con intervención de los profesionales especialmente cualificados para evaluar todos los elementos y recursos disponible, adoptando las soluciones más idóneas.

## L1 NAVEGACION POR RIOS, CANALES O VIAS NAVEGABLES

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Vientos, oleajes o corrientes de través.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

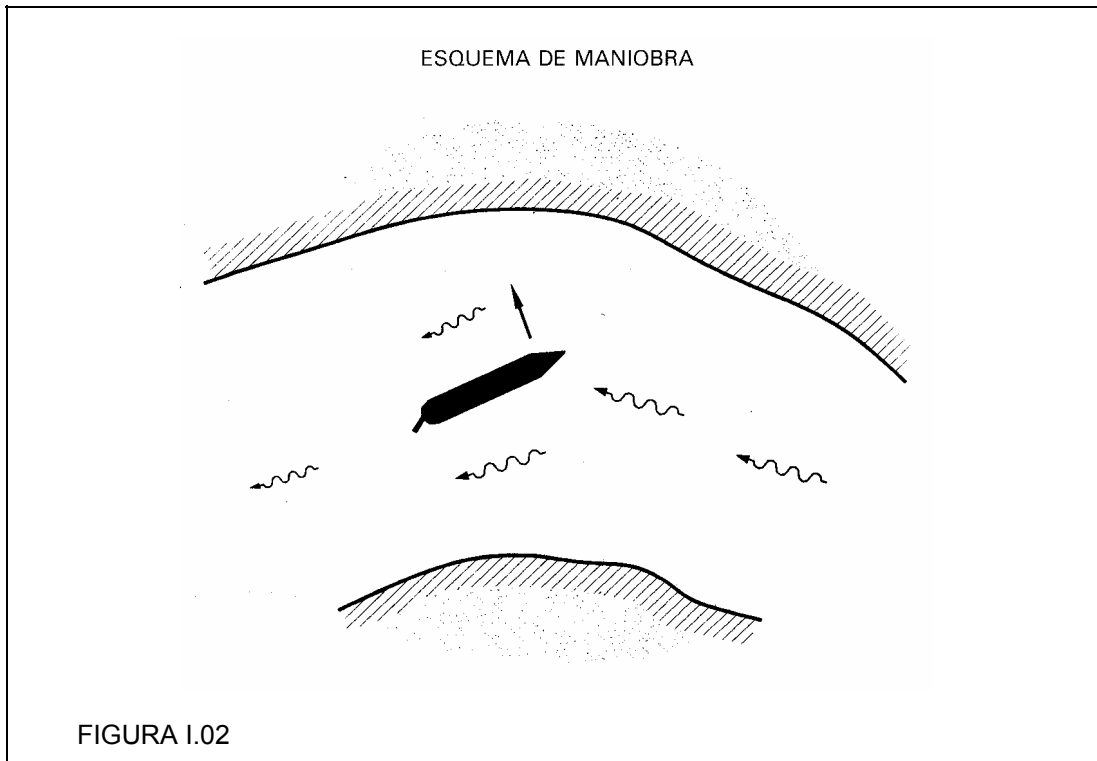
La navegación de un buque en una vía navegable con vientos, oleajes, o corrientes transversales tiene que realizarse con un ángulo de deriva hacia la dirección en la que actúan estas acciones, para compensar los esfuerzos transversales originados por estas acciones. El ángulo de deriva será tanto mayor cuanto menor sea la velocidad del buque. Debido a la fluctuación de los agentes externos es prácticamente imposible que el ángulo de deriva se mantenga constante, por lo que el barco desarrollará una trayectoria oscilatoria, como la que exageradamente se representa en la figura, precisando una mayor ocupación de espacios para desarrollar la maniobra.

### OBSERVACIONES

## I.2. NAVEGACION EN CURVA EN RIOS O CANALES

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Corriente fuerte en contra.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

Navegar con corriente en contra es la condición más segura porque el buque tendrá buen gobierno con velocidad moderada y se le podrá detener rápidamente en muy poco espacio.

Cuando se toma una curva con corriente en contra, es muy posible que la proa encuentre aguas más rápidas antes que la popa, generándose un movimiento de guiñada hacia la banda opuesta a la que se quiere caer, contrarrestando incluso el efecto de la proximidad de la margen exterior que tendería a empujar a la proa separándola de ese veril.

Esta situación debe preverse por anticipado y se estará preparado para meter el timón con tiempo en el sentido de la curvatura para compensar la guiñada peligrosa.

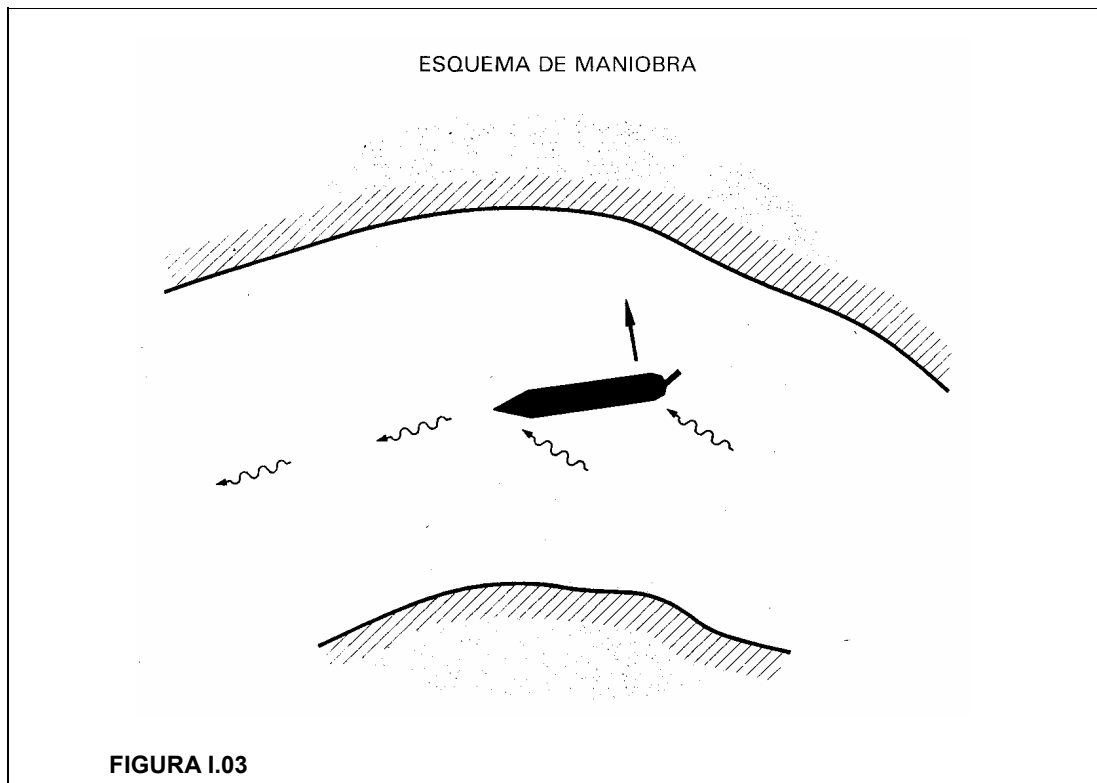
La mejor posición para iniciar el giro será en el eje del canal evitando tanto los remolinos o contracorrientes cercanos a la banda interior, como las corrientes más intensas de la orilla opuesta.

### OBSERVACIONES

### 1.3 NAVEGACION EN CURVA EN RIOS O CANALES

#### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Corriente fuerte a favor.



#### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

Navegar con corriente a favor permite avanzar a buena marcha con poca propulsión aunque con reducida capacidad de gobierno y sin posibilidad de detener rápidamente el buque en corto espacio.

Si se navega a favor de corriente no se presentan problemas y el buque puede seguir el eje del canal sin dificultades ya que la corriente ayuda a la caída. Si la aproximación se ha efectuado algo más próxima a la orilla interna de la curva o si se inició el giro demasiado pronto, puede suceder que la popa quede en aguas más rápidas y al actuar la corriente sobre la aleta de dentro la empuje con fuerza hacia el veril exterior aumentando la caída inicial. En consecuencia puede ser necesario poner timón a la banda de afuera para prevenir esa guiñada.

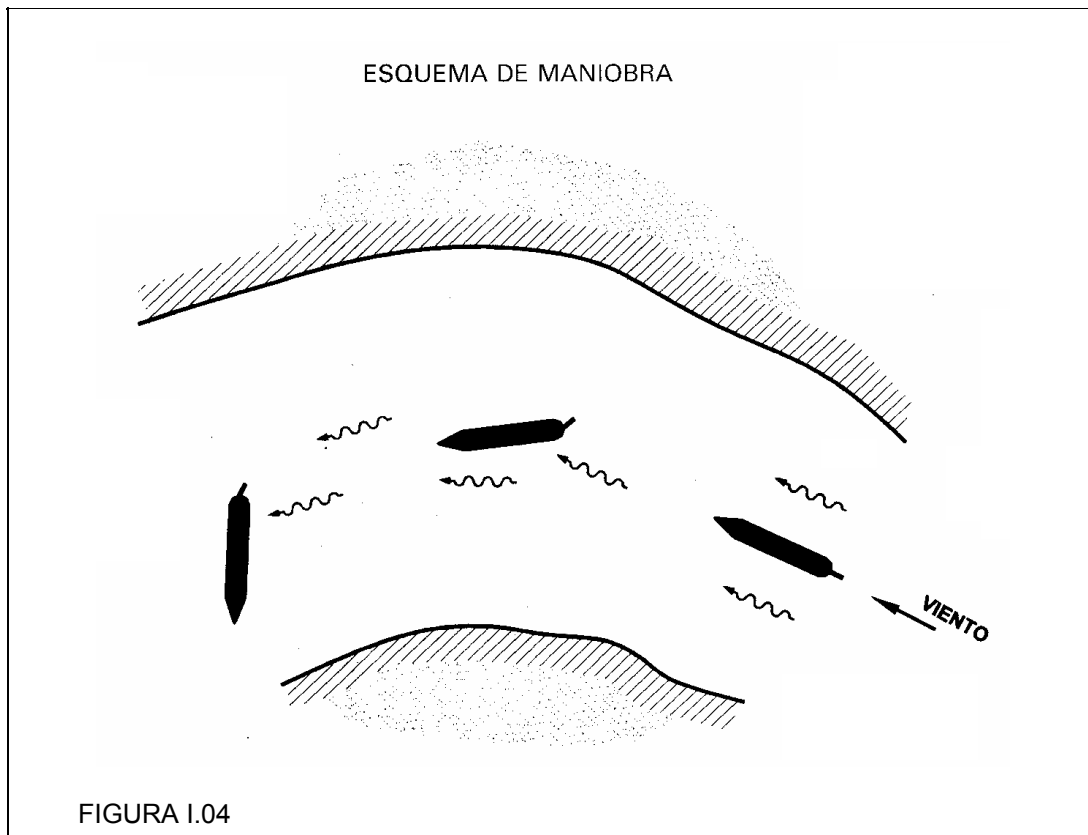
La forma más segura de girar con corriente a favor es aproximarse a la curva viniendo algo hacia afuera del eje del canal, pero muy cerca del centro del mismo, con ello se evitará la corriente excesiva de la orilla exterior, así como los remolinos de la margen opuesta y la moderada fuerza de la corriente actuando sobre la aleta de dentro ayudará a la caída.

#### OBSERVACIONES

## 1.4 NAVEGACION EN CURVA EN RIOS O CANALES

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Viento de popa y corriente fuerte a favor.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

La actuación del viento, según la dirección en que sople, puede facilitar o frenar la caída de un buque que toma una curva en un río o canal. La situación más peligrosa puede presentarse con buques de una sola hélice que naveguen en lastre con corriente a favor y viento de popa al tomar una curva en la que deben caer a estribor.

Como se ve en la figura, al ir girando el buque, tanto la corriente como el viento tratarán de hacer caer la popa hacia el veril exterior y, si se llega a perder el control de nada servirá dar máquinas atrás, pues la fuerza lateral de la hélice lo que hará será acentuar la caída de la popa a babor, con lo que el buque se atravesará a la corriente y probablemente varará sobre la orilla de dentro.

La forma más segura de girar será poner de antemano algo de timón a la banda de fuerza y no comenzar la caída demasiado pronto, de este modo se mantendrá el buque dentro del flujo principal de la corriente y se podrá controlar su régimen de caída conservándole continuamente al rumbo conveniente.

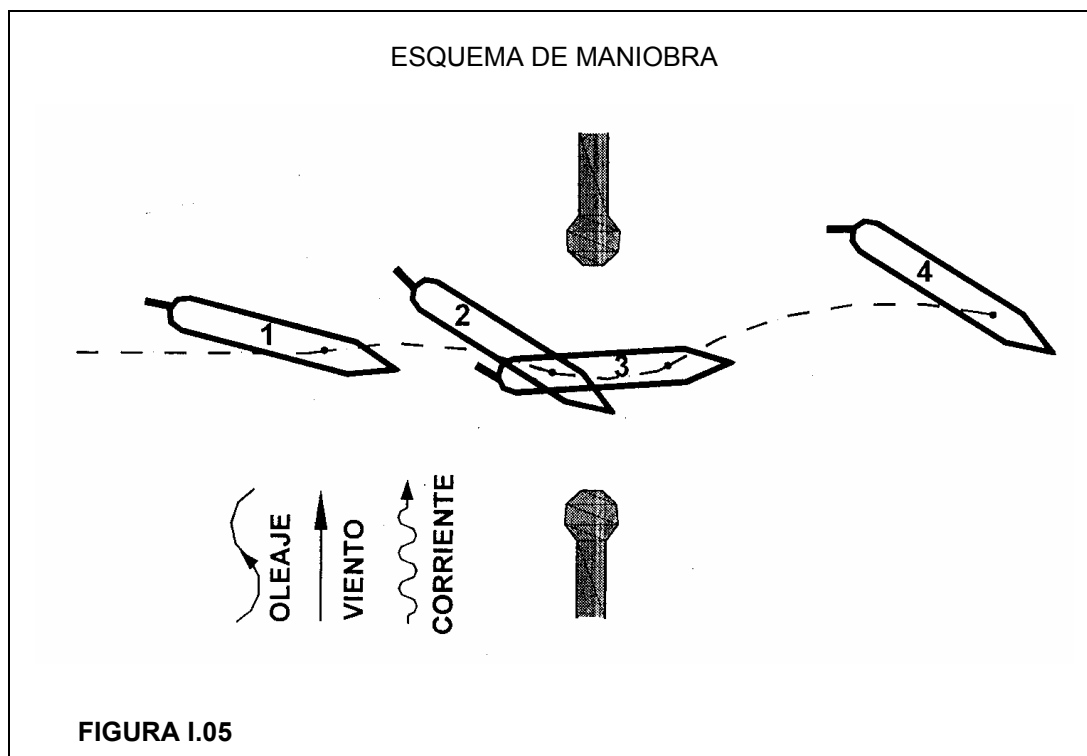
### OBSERVACIONES



## 1.5. FRANQUEAR PASOS ANGOSTOS EN UNA VIA NAVEGABLE

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Vientos, oleajes o corrientes transversales al eje de la vía.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

Cuando existen vientos, oleajes o corrientes transversales una solución consiste en adoptar a una distancia conveniente un rumbo con un ángulo de deriva tal que compense la acción de las cargas exteriores (1), navegando algo de costado por el centro de la vía y manteniendo una marcación constante al punto medio del paso. Si el ángulo de deriva es muy grande o el paso muy estrecho habrá que girar el buque para ponerlo casi paralelo al eje de la vía a medida que se atraviese el paso (3), para lo cual será necesario hacer una clara guiñada a babor usando bastante timón cuando el buque alcance la entrada (2); este requerimiento vendrá además reforzado por el hecho de que al entrar en zona de aguas calmas la popa tenderá a desplazarse en dirección a las acciones exteriores si no se toma una medida decisiva para evitarlo. Una vez efectuado el cruce del paso angosto y como es natural el buque se trasladará hacia el lado izquierdo de la vía de navegación por lo que se precisará que haya espacio disponible en esa margen para poder evolucionar hasta recuperar el centro de la vía (4).

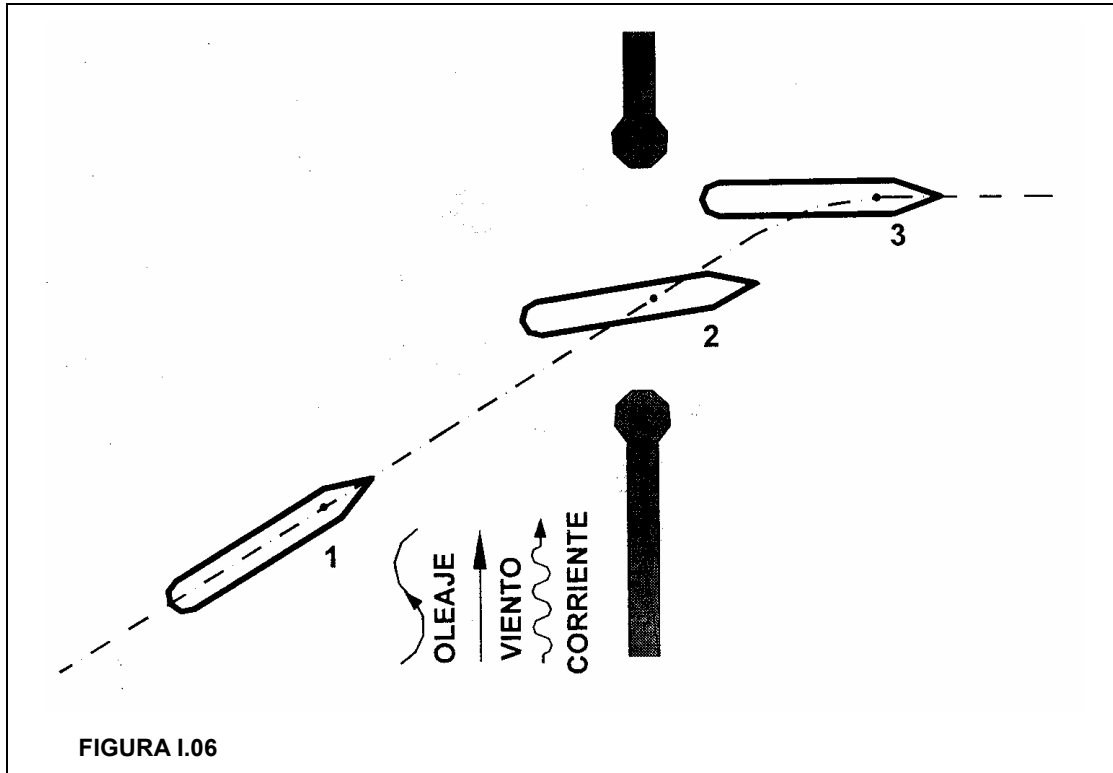
### OBSERVACIONES

Ver maniobra alternativa en la figura I.06.

## I.6. FRANQUEAR PASOS ANGOSTOS EN UNA VIA NAVEGABLE

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Vientos, oleajes o corrientes transversales al eje de la vía.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

Cuando existen vientos, oleajes o corrientes transversales al eje de la vía, una solución alternativa a la descrita en la figura I.05, consiste en efectuar la aproximación sobre una derrota oblicua que pase algo más cerca del extremo del paso situado a estribor de la vía si es factible. El buque se aproximará con un ángulo de deriva más reducido (1) y al llegar a la posición (2) con su proa algo más protegida de las acciones exteriores, éstas tenderán a desplazar la popa girando el buque en relación con la trayectoria de aproximación tendiendo a orientarlo en la dirección del eje de salida (3).

### OBSERVACIONES

Ver maniobra alternativa en la figura I.05.

## I.7. GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Tiempo calmo (condiciones climáticas que no afectan significativamente a la maniobra).



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

Supuesto un buque con hélice de paso a la derecha, a partir de la posición inicial (1), dar máquinas avante y poner todos el timón a estribor (2). Antes de que el buque adquiera demasiada arrancada dar máquinas atrás y cambiar el timón a babor hasta que el buque se pare (3). Continuar con máquinas atrás y timón a babor hasta que el buque gane arrancada atrás (4), en donde se dará máquina avante y se cambiará el timón a estribor hasta alcanzar la posición (5) en la que se parará el buque. Continuar con máquinas avante y timón a estribor reduciendo el ángulo de la pala hasta recuperar el rumbo opuesto al inicial.

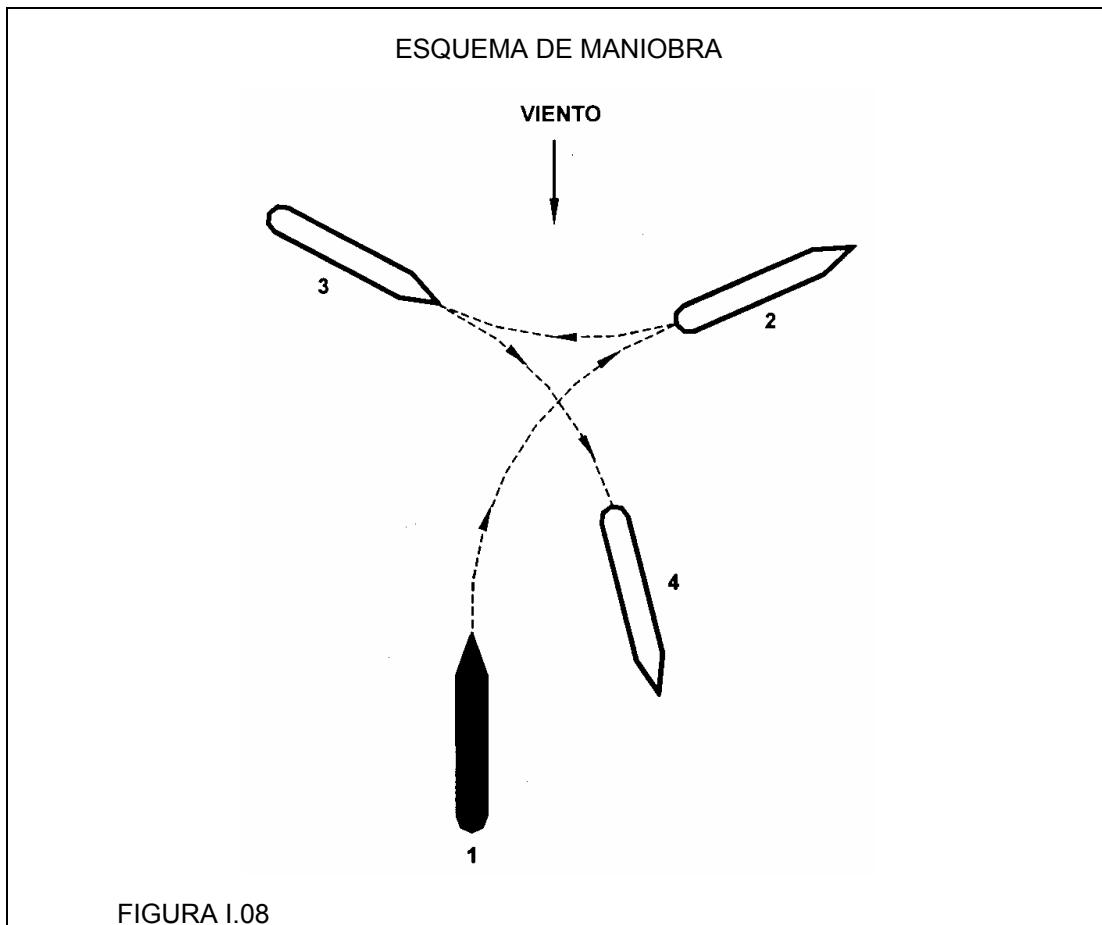
### OBSERVACIONES

Si el buque tiene hélice de paso a la izquierda la maniobra se iniciará hacia babor resultando simétrica de la anterior.

## I.8. GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Viento fuerte de proa.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

La maniobra en líneas generales es análoga a la descrita para tiempo calmo en la figura I.07, con la particularidad de que la popa tiende a buscar al viento cuando el buque se mueve en marcha atrás, resultando que en la posición (3) se ha conseguido girar el buque en un ángulo mayor que en tiempo calmo y en consecuencia se completa el giro en una posición (4) más adelantada que la de inicio de la maniobra (1).

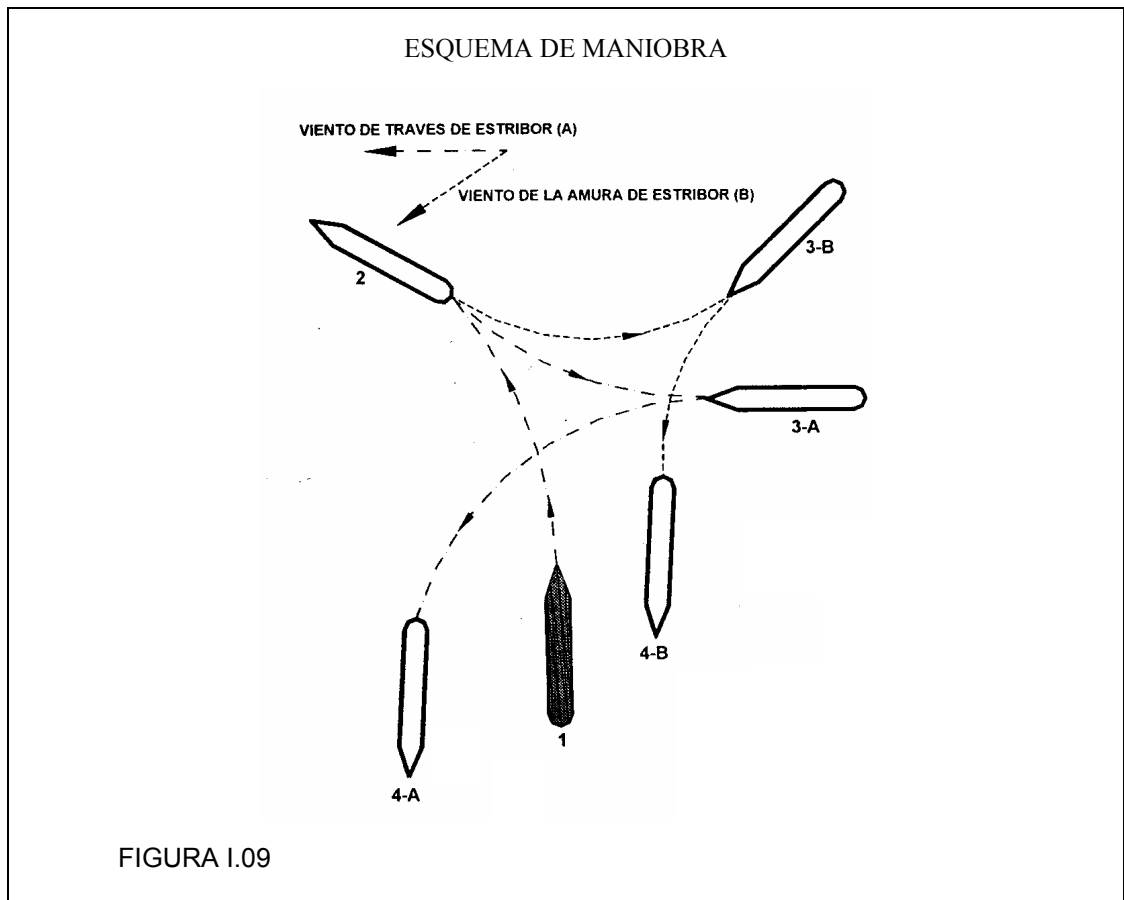
### OBSERVACIONES

La maniobra está representada para un buque con hélice de paso a la derecha. Si el buque tuviera hélice de paso a la izquierda la maniobra se iniciaría hacia babor resultando simétrica de la esquematizada.

## I.9. GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Viento fuerte de través de estribor (A) o de la amura de estribor (B).



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

Cuando existe viento fuerte de través de estribor, no es aconsejable realizar la maniobra haciendo caer el buque a estribor como en el caso de tiempo calmo, ya que de hacerlo así, al dar atrás en el segundo tramo de la maniobra la tendencia del buque a arribar contrarrestaría el efecto lateral de la hélice y el buque se encontraría en una posición próxima a la inicial. Es preferible iniciar la maniobra con arrancada avante y todo timón a babor hasta la posición (2), a partir de la cual la fuerza lateral de la hélice será cada vez más superada por la tendencia de la popa a buscar el viento en marcha atrás, con lo que se alcanzará la posición (3A), desde la que es fácil dar avante con el timón a babor y completar el giro.

La maniobra es similar cuando existe viento fuerte de la amura de estribor con la particularidad de que en la posición (3B) se habrá completado una mayor parte del giro debido a la tendencia de la popa a buscar el viento en marcha atrás

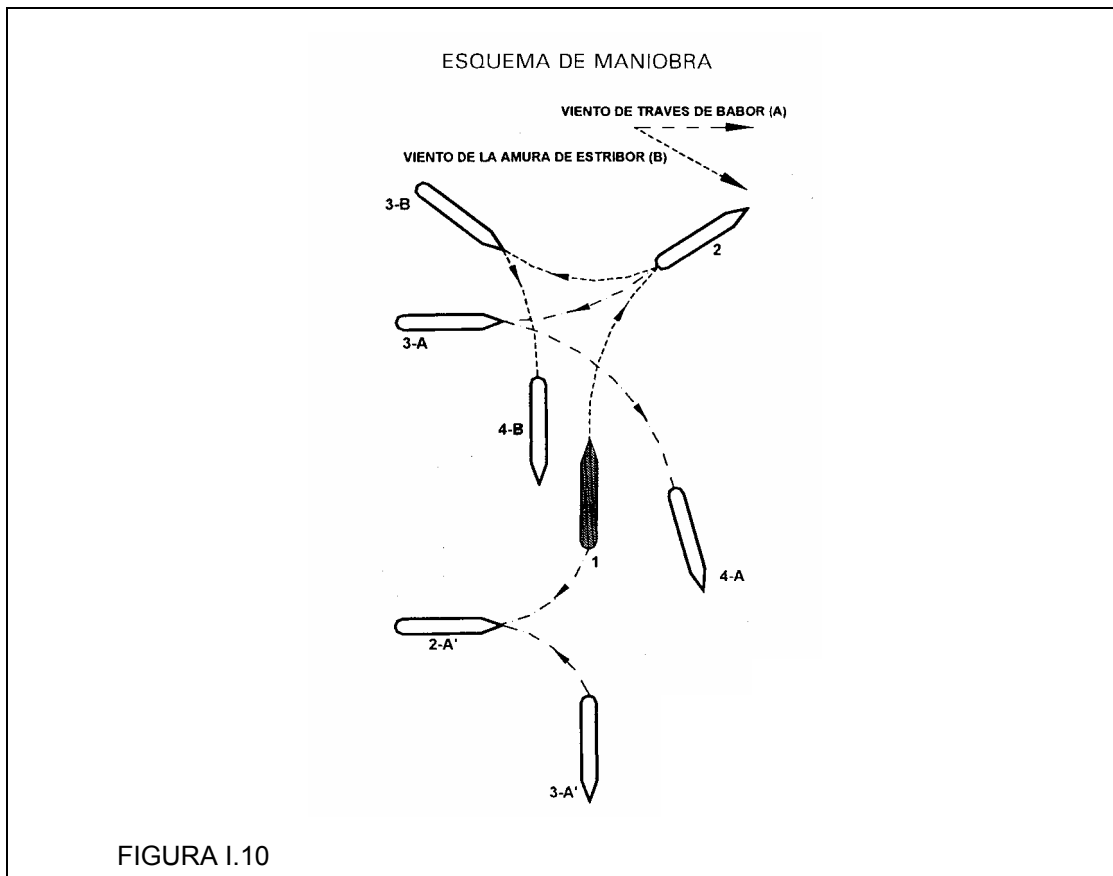
### OBSERVACIONES

La maniobra se efectuaría igual con independencia de que buque tuviera la hélice dextrógira o levógira.

## I.10. GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Viento fuerte de través de babor (A) o de la amura de babor (B).



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

Cuando existe viento fuerte de través de babor la maniobra se desarrollará como se describe para tiempo calmo en la figura I.07; sin embargo, la tendencia de la popa del buque a buscar el viento en marcha atrás, conducirá a una posición (3A) en la que se habrá completado un menor ángulo de giro, por lo que la posición final (4A) se alcanzará en un punto más retrasado y a estribor de la posición inicial. Par evitar esta caída lateral puede desarrollarse una maniobra alternativa (A') en la que el buque iniciase la maniobra con arrancada atrás buscando la posición natural de equilibrio (2A') desde la que poder continuar la maniobra hasta (3A'), con menor caída lateral que en el caso anterior, pero en una posición muy retrasadas con respecto a la inicial.

Cuando el viento fuerte provenga de la amura de estribor la maniobra se realiza fácilmente según el esquema inicial, ya que la posición (3B) se alcanza sin dificultad dada la tendencia de la popa del buque en buscar la dirección del viento en marcha atrás.

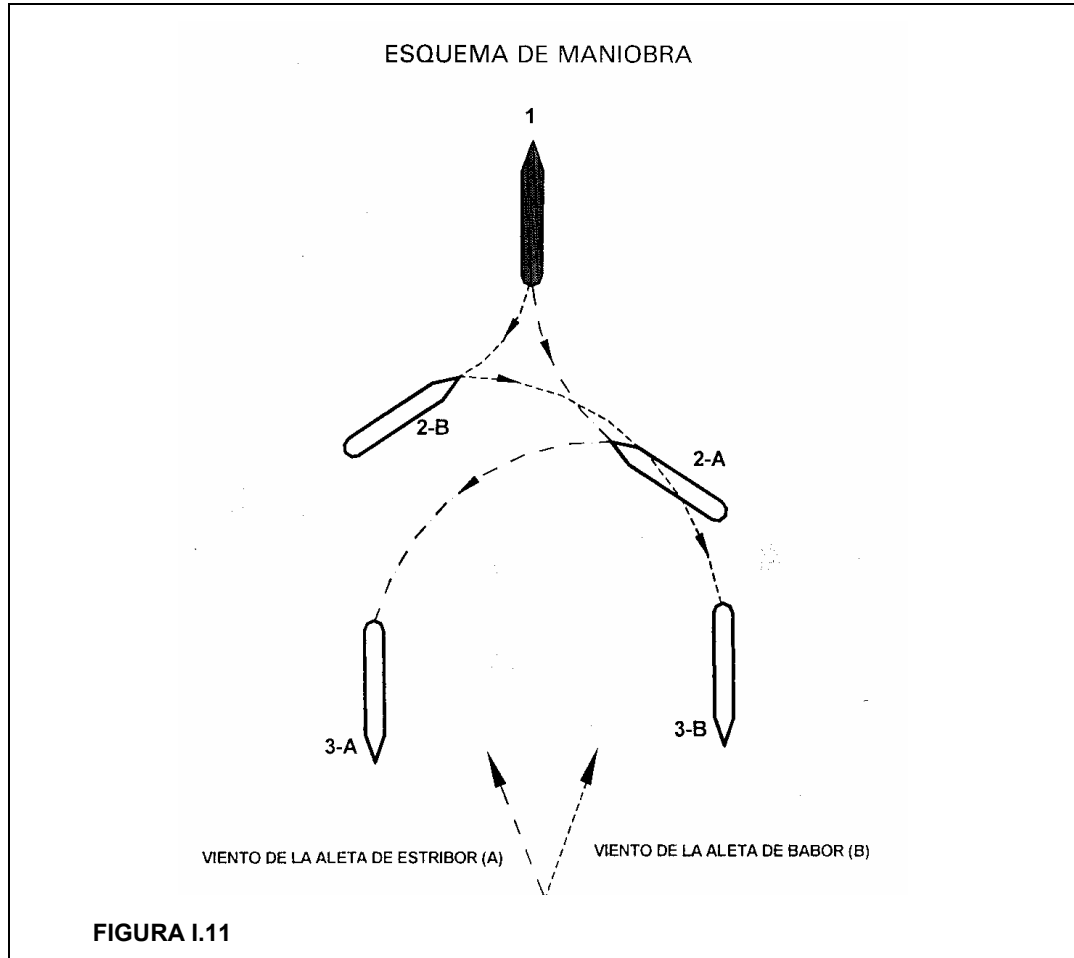
### OBSERVACIONES

La maniobra se efectuaría igual con independencia de que buque tuviera la hélice dextrógira o levógira.

## I.11. GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Viento fuerte de la aleta de estribor (A) o de la aleta de babor (B).



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

Cuando el viento fuerte sopla de cualquiera de las dos aletas la maniobra normal de giro representada en tiempo calmo es difícilmente realizable, ya que al intentar dar marcha atrás en el 2° tramo de la maniobra, la tendencia del buque a arribar contrarrestaría el efecto lateral de la hélice y el buque se encontraría en una posición próxima a la inicial. Es recomendable por tanto efectuar la maniobra esquematizada en la figura iniciando la maniobra en marcha atrás para buscar la caída natural del buque con la popa hacia la dirección del viento, posiciones (2A) ó (2B), desde las que se puede dar avance con timón a babor o estribor respectivamente, hasta completar el giro en las posiciones (3A) ó (3B) que tendrán una posición muy retrasadas y con mucha caída lateral con respecto a la inicial (1).

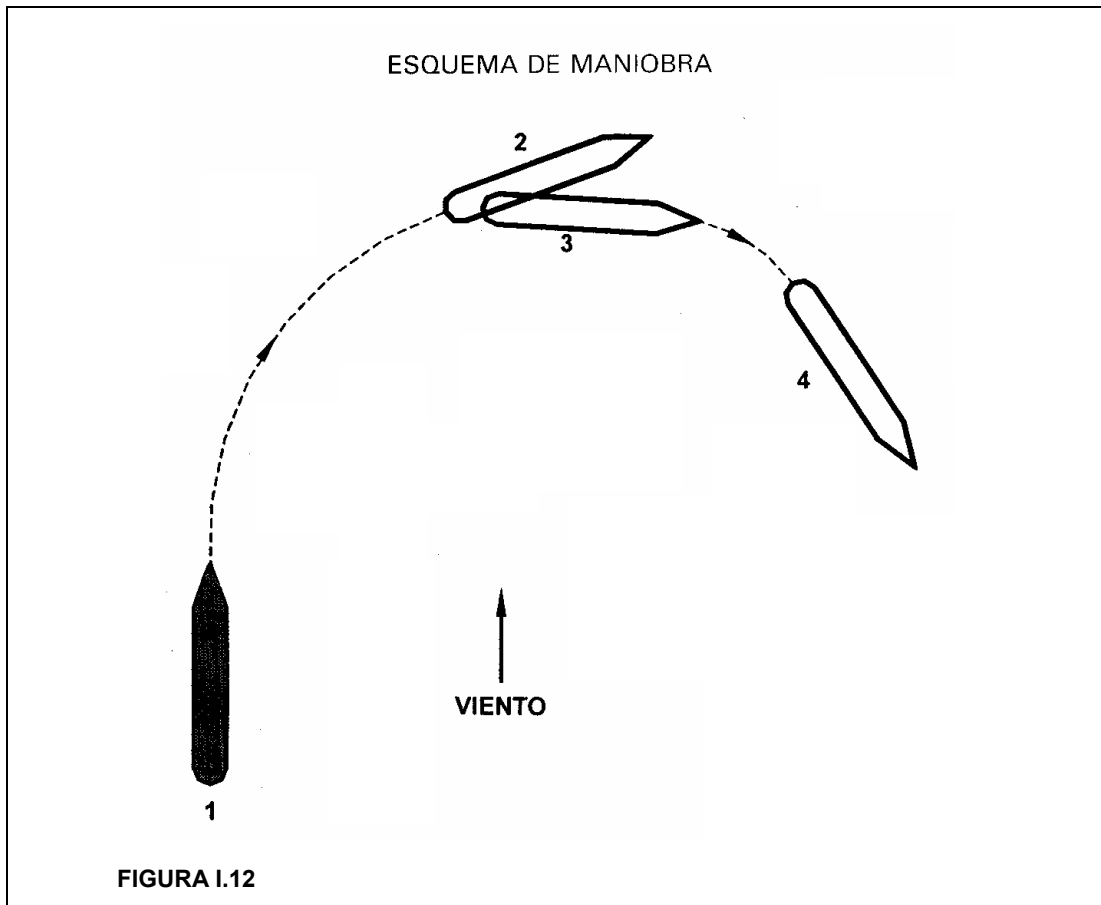
### OBSERVACIONES

La maniobra se efectuaría igual con independencia de que buque tuviera la hélice dextrógira o levógira.

## I.12. GIRAR UN BUQUE DE UNA SOLA HELICE EN ESPACIOS REDUCIDOS

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Viento fuerte de popa.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

Cuando existe viento fuerte de popa la maniobra se iniciará como en el caso descrito en la figura para tiempo calmo, si bien al llegar a la posición (2) en la que el buque recibe el viento por la aleta, se dará máquinas atrás lo que propiciará un cambio de rumbo hacia la posición (3) por el efecto de la fuerza lateral de la hélice, y una vez conseguido se pondrá máquina adelante para completar el giro aprovechando la tendencia de la proa para buscar el viento.

### OBSERVACIONES

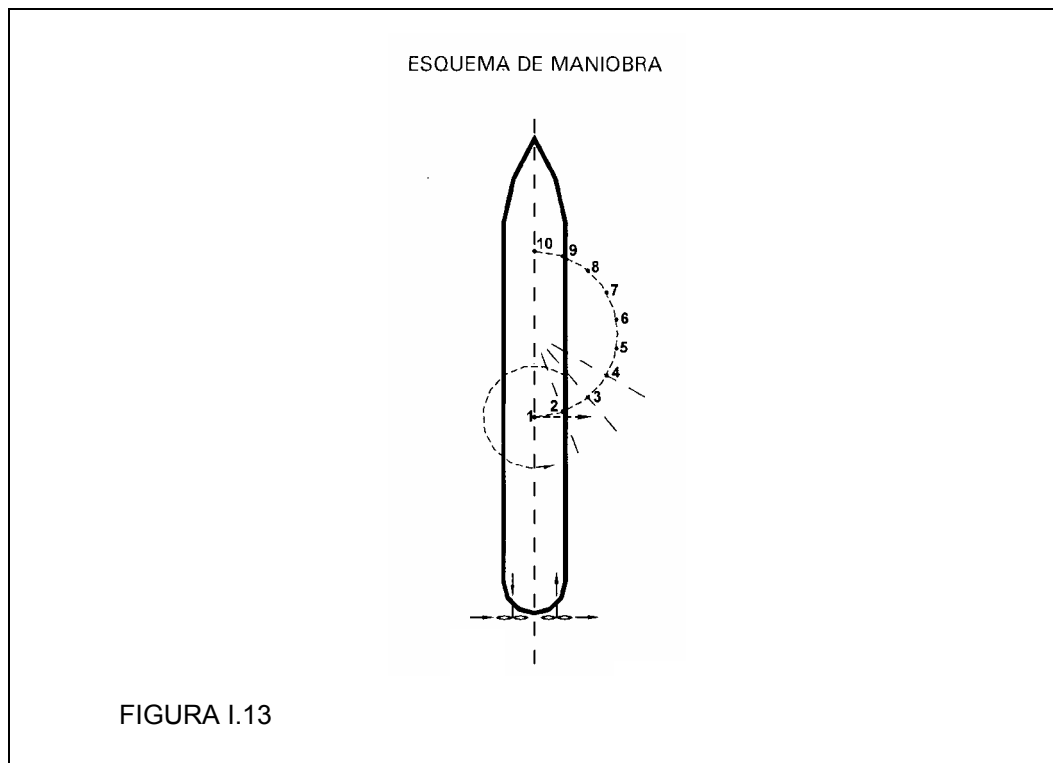
La maniobra está representada para un buque con hélice de paso a la derecha. Si el buque tuviera hélice de paso a la izquierda la maniobra se iniciaría hacia babor resultando simétrica de la esquematizada.



### I.13. GIRAR UN BUQUE DE DOS HELICES EN ESPACIOS REDUCIDOS

#### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Tiempo calmo (condiciones climáticas que no afecten significativamente a la maniobra) o viento fuerte en cualquier dirección.



#### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

Para girar en el menor espacio posible y en tiempo calmo un buque de dos hélices de giros opuestos en marcha avante es necesario cambiar e sentido de giro de ambos, girando una avante y otra atrás según a que banda se desee realizar la maniobra (en la figura se ha supuesto que el giro se inicia hacia la banda de babor). Dado que la hélice que gira atrás tiene menor eficacia si se quiere evitar una componente longitudinal del empuje del propulsor que desplace la maniobra, es necesario aplicar algunas revoluciones de más al eje que gira atrás. Al efecto del par creado por los empujes iguales y de sentido contrario de los propulsores se une el empuje lateral que se genera en ambos propulsores (si las hélices giran hacia afuera en marcha avante), lo que aumenta el momento evolutivo aunque se genere una componente transversal desequilibrada. En este supuesto el buque girará prácticamente sobre si mismo si bien la deriva ocasionada por la fuerza transversal irá produciendo un desplazamiento del centro de gravedad del buque, según se esquematiza en las posiciones 1 a 10 de la figura.

La incidencia del timón en esta maniobra depende de cuantos existan y donde estén emplazados.

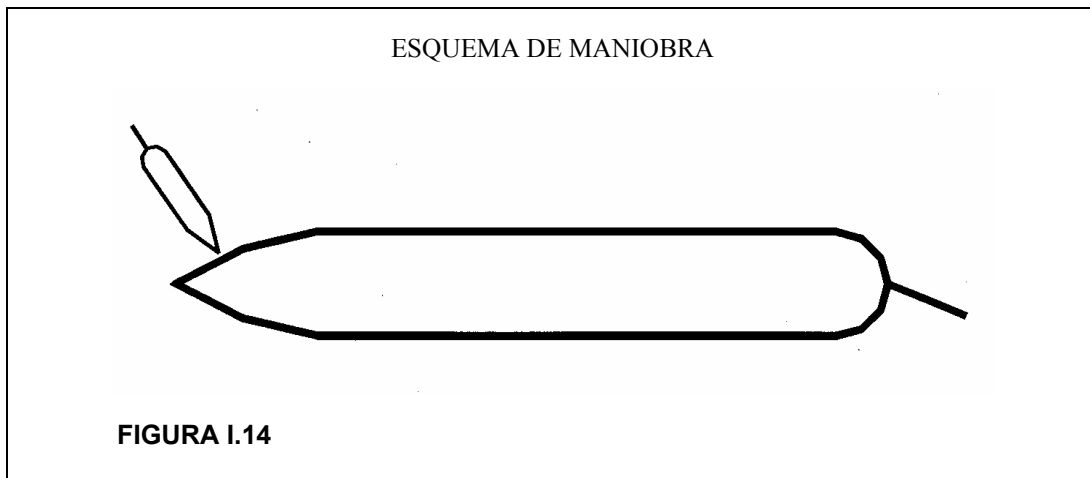
#### OBSERVACIONES

Cuando existe viento la maniobra se realizará igual si bien es aconsejable ganar algo de arrancada adelante o atrás, especialmente si el buque recibe inicialmente el viento del través. En general la mayor eficacia se consigue manteniendo ligeramente el buque avante cuando se le hace caer orzando con la proa al viento, y ligeramente atrás cuando se le hace girar arribando al viento.

## I.14. GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON UN REMOLCADOR

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Tiempo calmo (condiciones climáticas que no afecten significativamente a la maniobra).



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

El método más efectivo para revirar un buque en tiempo calmo con ayuda de un solo remolcador, consiste en situarse tan cerca de la proa como sea posible y empujar perpendicularmente a la curva de la amura, con lo cual además de producir una buena caída de la proa hace que el buque vaya atrás. Para contrarrestar este último efecto se da máquina avante y se mete todo el timón a la banda que se desee girar, con lo que la popa caerá en sentido contrario a la proa, produciéndose un momento evolutivo adicional al del remolcador, que hacen revirar al buque prácticamente en su sitio al estar además compensados los empujes longitudinales y transversales.

Si el buque tiene doble hélice el efecto anterior se verá reforzado girando una avante y otra atrás, tal como se describe en la figura I.13.

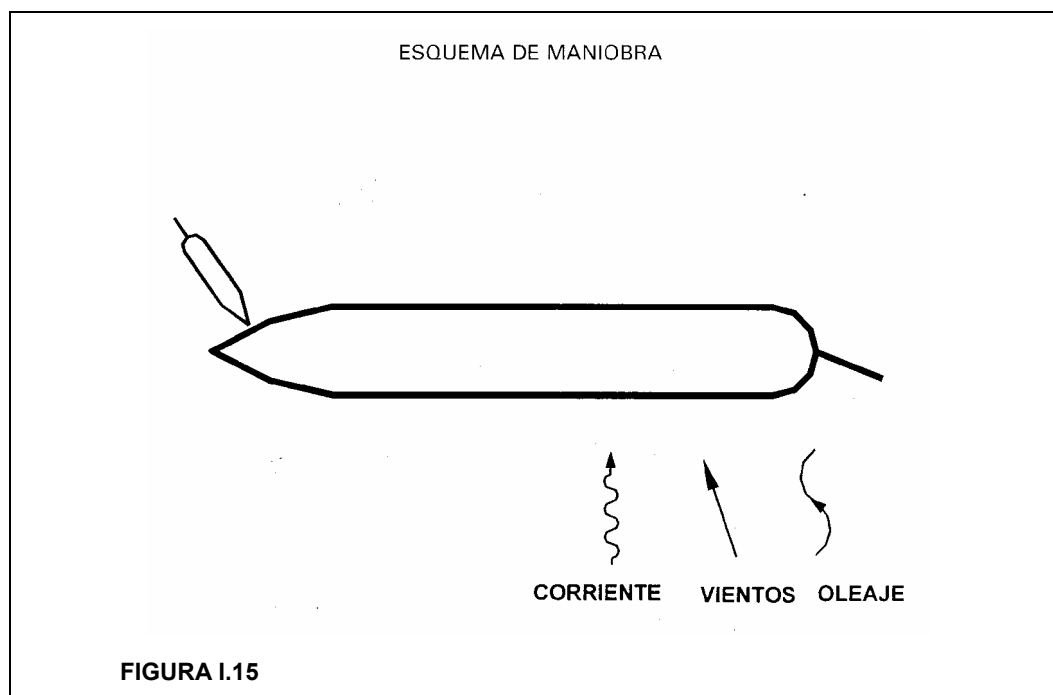
### OBSERVACIONES

El efecto de una hélice transversal en proa es equivalente a la componente en ese sentido del remolcador, pero no puede compensar el empuje longitudinal del propulsor avante, por lo que la maniobra requiere mayores espacios.

## I.15. GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON UN REMOLCADOR

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Vientos, oleajes o corrientes fuertes.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

En este supuesto debe utilizarse el remolcador para hacer firme la proa (o la popa), aprovechando la acción de los agentes externos para provocar el reviro del buque. En el supuesto de que convenga fijar la proa al remolcador se situará sobre la curva de la amura trabajando de carnero avante, o atrás según convenga. Si lo que se pretende es fijar la popa la posición del remolcador en carnero es más ineficaz ya que no puede acercarse a ese extremo del buque tanto como lo hacia en la proa, además de resultar afectado por la interacción del flujo de agua entre el buque y el remolcador, especialmente si el barco da máquinas atrás; por esta razón es aconsejable que en caso de fijar la popa se utilice el remolcador trabajando en flecha.

El buque dará máquinas avante o atrás y hará uso del timón según convenga en función de la dirección de actuación de las acciones exteriores. En el caso de tratarse de un barco de doble hélice el reviro se verá reforzado haciendo girar una hélice avante y otra atrás, tal como se describió en la figura I.13.

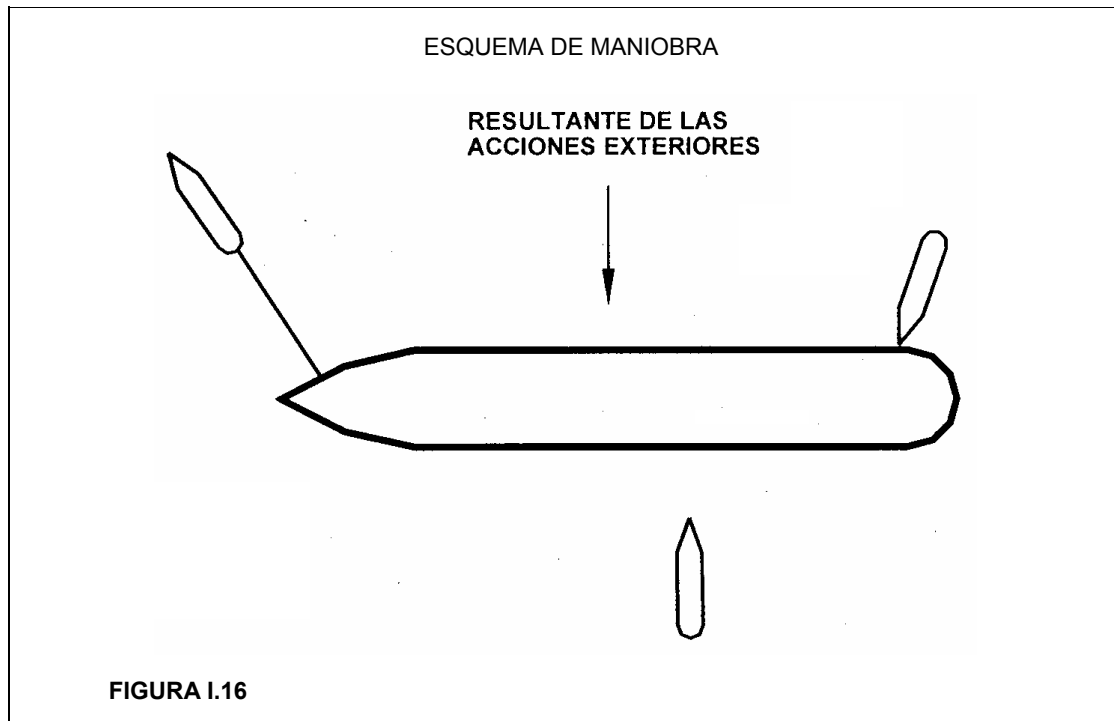
### OBSERVACIONES

El efecto de una hélice transversal en proa o en popa es equivalente a la componente en este sentido del remolcador, pero no puede proporcionar el empuje longitudinal que compense del propulsor del buque que se precise aplicar durante la maniobra.

## I.16. GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON DOS O MAS REMOLCADORES

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Vientos, oleajes o corrientes en cualquier dirección



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

Si se dispone de dos remolcadores pueden adoptarse diferentes configuraciones con un remolcador trabajando en proa y otro en popa que contribuyen a crear las fuerzas y momentos que equilibren las acciones externas y controlen la maniobra de reviro. El esquema representado dispone un remolcador trabajando en flecha desde la proa y otro, normalmente de mayor potencia, trabajando de carnero en la popa en donde podrá empujar dando máquinas avante o tirar dando máquinas atrás, según convenga. Si se disponen de más remolcadores conviene tenerlos a la orden o emplazados para actuar más próximos al centro del buque según convenga. Ver esquemas alternativos en figura I.17.

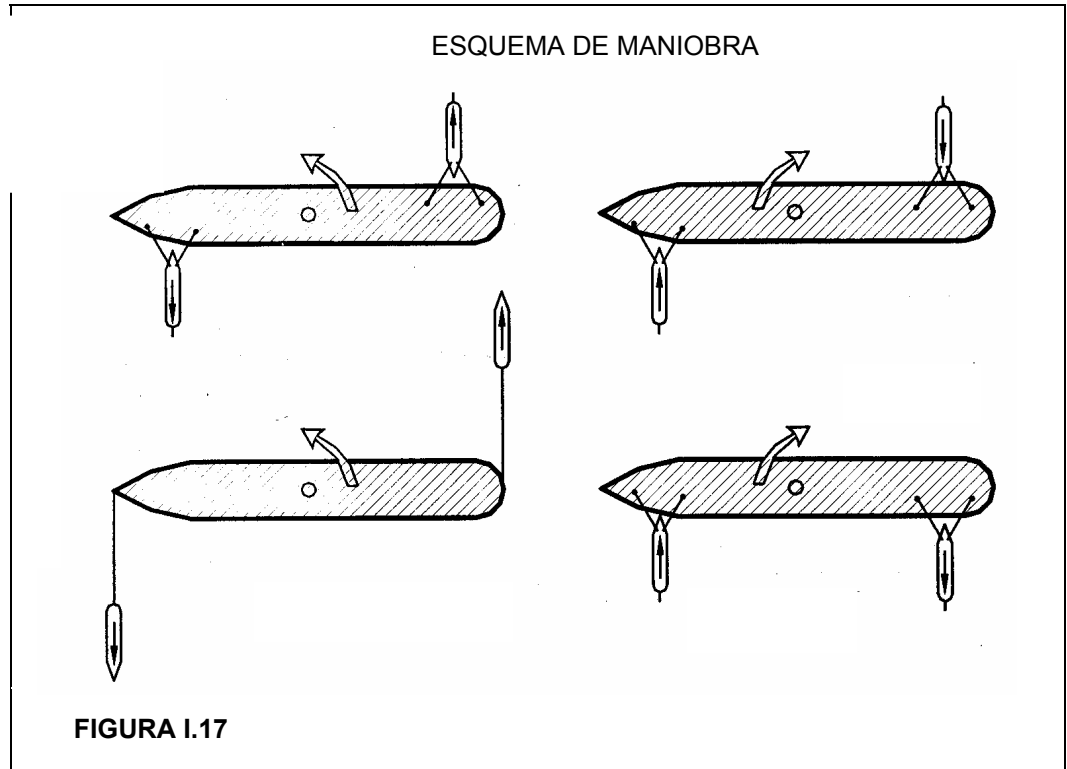
### OBSERVACIONES

La utilización de hélices transversales equivale a la componente transversal de un remolcador trabajando en el punto donde se encuentran ubicadas.

**I.17. GIRAR UN BUQUE EN ESPACIOS REDUCIDOS CON DOS O MAS REMOLCADORES**

**CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA**

Vientos, oleajes o corrientes en cualquier dirección.



**BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA**

La figura recoge diversas configuraciones posibles de disposición de remolcadores que pueden generar un par de fuerzas que produzcan el reviro del buque. La adopción de uno u otro procedimiento depende del tipo de remolcadores disponibles, de las condiciones de clima marítimo en las que se desarrolle la maniobra, del espacio disponible, etc. En el caso de disponer de remolcadores adicionales se les situará más próximos al centro del buque y reforzando la posición del extremo del barco que resulte más desequilibrado.

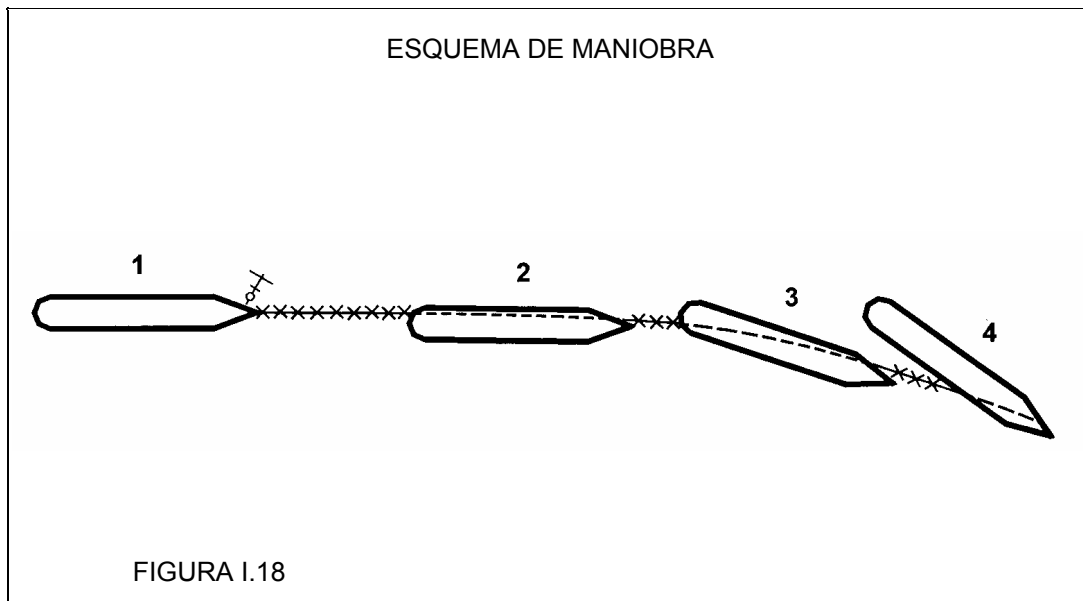
**OBSERVACIONES**

Ver maniobra alternativa en figura I.16.

## I.18. FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Fondeo en tiempo calmo con arrancada avante.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

El buque llega al fondeadero con la arranca adecuada para pasar el punto de fondeo en la posición (1) en la que larga el ancla, continuando su trayectoria, en la que pone máquinas atrás para reducir la distancia de parada, posición (2) y siguientes. La cadena se va largando en la longitud requerida hasta extinguir la arrancada sin frenar bruscamente el cabestrante para evitar esfuerzos excesivos en la cadena. Al final de la maniobra, posiciones (3) y (4) el buque podrá caer algo cruzándose sobre la trayectoria; en cualquier caso la cadena quedará tendida trabajando por debajo del casco. Una vez parado el buque podrá cobrarse parte de la cadena salida con la cual el buque quedará enfilado hacia el punto de fondeo, en posiciones que no están representadas en la figura.

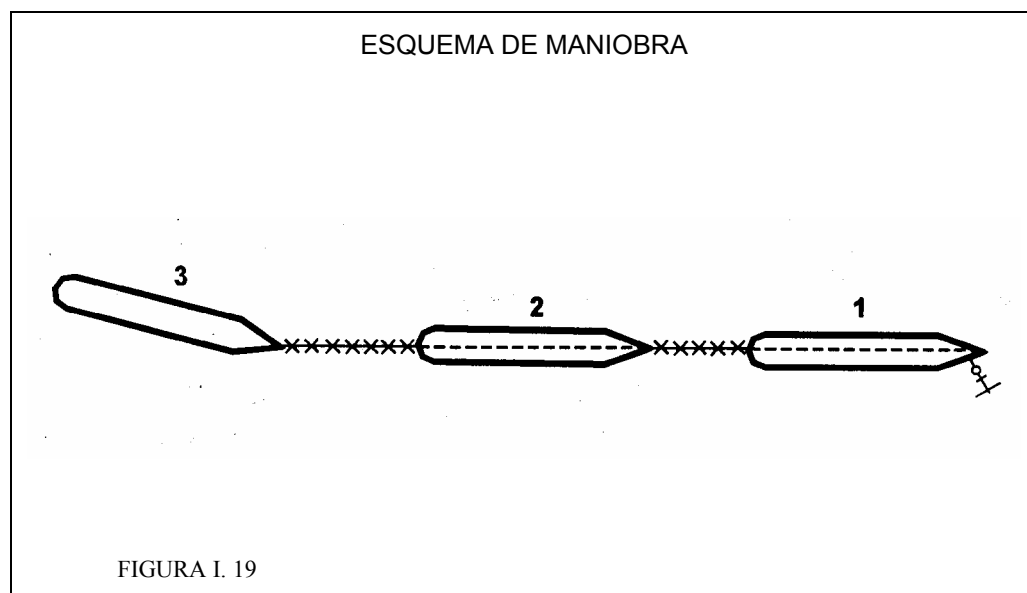
### OBSERVACIONES

Este método permite fondear con gran precisión porque el timón actúa hasta el momento de dar fondo el ancla, sin embargo puede producir esfuerzos excesivos en la cadena, además de dejarla situada por debajo del casco lo que puede producir averías.

## I.19. FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Fondeo en tiempo calmo con arrancada atrás.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

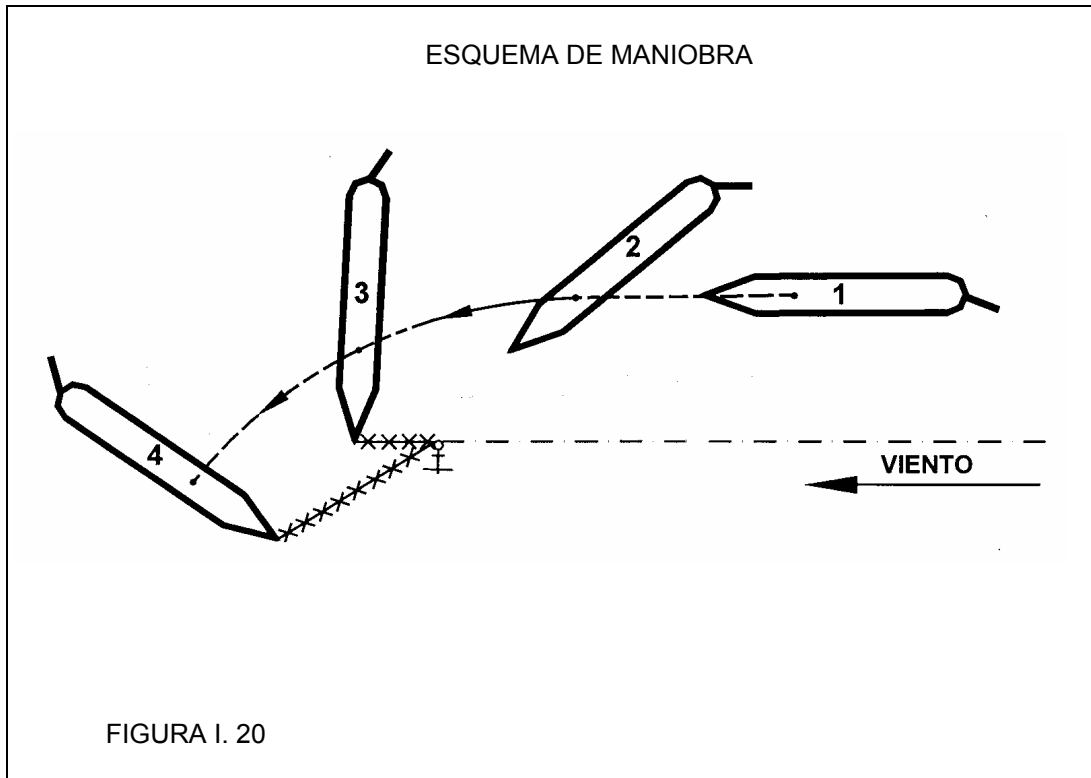
El buque llega al fondeadero con velocidad reducida llegando al punto de fondeo en la posición (1) con el buque prácticamente parado y con máquinas dando atrás, de manera que una vez largado el ancla y debido a la arrancada atrás retrocede por la ruta de aproximación, posición (2), dejando que la cadena vaya saliendo hacia la proa. Cuando se haya enfilado la longitud necesaria se irá cerrando el freno del cabestrante, cuando el buque tenga aún algo de arrancada atrás, con lo que la cadena entrará en tracción contribuyendo a que el ancla haga cabeza. El buque quedará parado en la posición (3) en la que aún se puede dar algo de máquina adelante o atrás, según convenga, para lograr la tensión más idónea en la cadena.

### OBSERVACIONES

Este método tiene más imprecisiones en el punto de fondeo, ya que el buque llega a él sin velocidad y sin posibilidad de control, sin embargo deja siempre la cadena por delante del casco y permite ajustar con mayor precisión las condiciones de trabajo de la cadena y el ancla.

## I.20. FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Viento fuerte.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

Cuando existe viento fuerte lo deseable, si es factible, es efectuar la aproximación con proa al viento y utilizar el método de fondeo con arrancada atrás (que es análogo al caso estudiado en la figura I.19). De este modo el buque no sufrirá abatimiento y se podrá controlar mejor cualquier dificultad imprevista.

Si por limitaciones de espacio no fuera posible realizar esta maniobra y el viento se recibiese de través, habrá que tenerse en cuenta el efecto del abatimiento durante la aproximación y compensarlo con un cambio de rumbo, para tratar de mantener el buque sobre la derrota prefijada al acercarse al fondeadero, teniendo en cuenta además la tendencia del buque a caer a una u otra banda a ir perdiendo arrancada.

En el peor de los casos será necesario aproximarse al fondeadero con viento de popa y fondear con arrancada adelante (que es el esquema representado en esta figura). En este caso se apuntará con la proa para pasar lateralmente al punto de fondeo, dejando caer el ancla y provocando que el buque se aprobe rápidamente al viento y que la cadena trabaje en todo momento libre del casco.

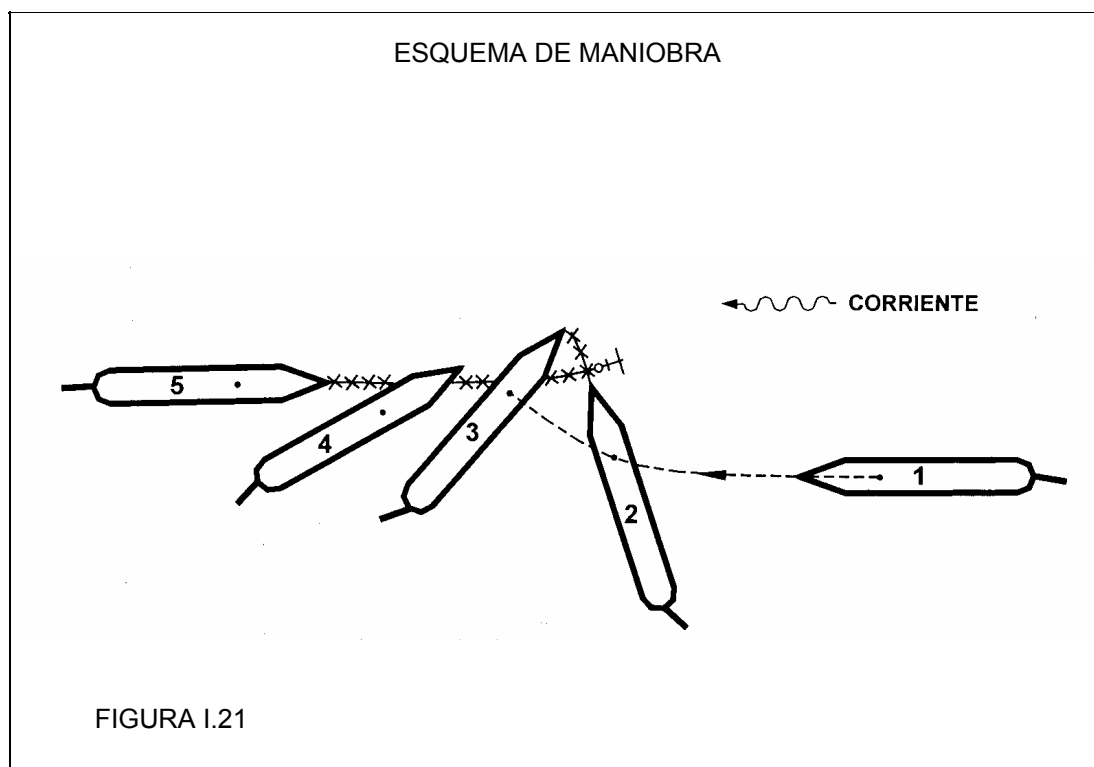
### OBSERVACIONES



## I.21. FONDEAR UN BUQUE CON UN SOLO ANCLA

CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Corriente fuerte.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

Cuando existe corriente fuerte lo deseable, si es factible, es efectuar la aproximación con proa a la misma para evitar la deriva y utilizar el método de fondeo con arrancada atrás, de un modo similar al que se describió en la figura I.19, con la ventaja adicional de que el buque podrá mantener su capacidad de control permaneciendo prácticamente parado con respecto al fondo.

Si las condiciones obligan a fondear con la corriente a favor y se trata de buques de una sola hélice, puede procederse como se indica en el esquema en donde se ha utilizado para fondear el ancla de estribor, aprovechando el efecto de la fuerza lateral de la hélice al dar atrás y la tensión de la cadena para acelerar la caída y facilitar el trabajo del ancla. Poco antes de llegar al punto de fondeo se pone todo el timón a estribor y se da máquina atrás, con lo que el buque cae a esa banda y se fondea (2) en la virada. Si el buque toma arrancada atrás se dará adelante despacio cambiando el timón a estribor (4) para llegar la proa a la corriente con el buque desplazándose lentamente atrás, para evitar la excesiva tracción sobre la cadena al estar el buque atravesando a la corriente lo que podría hacer garrear al ancla.

Si existe viento y corrientes fuertes generalmente se seguirán los criterios para fondear en función de la corriente, ya que sus efectos suelen ser mucho más acusados.

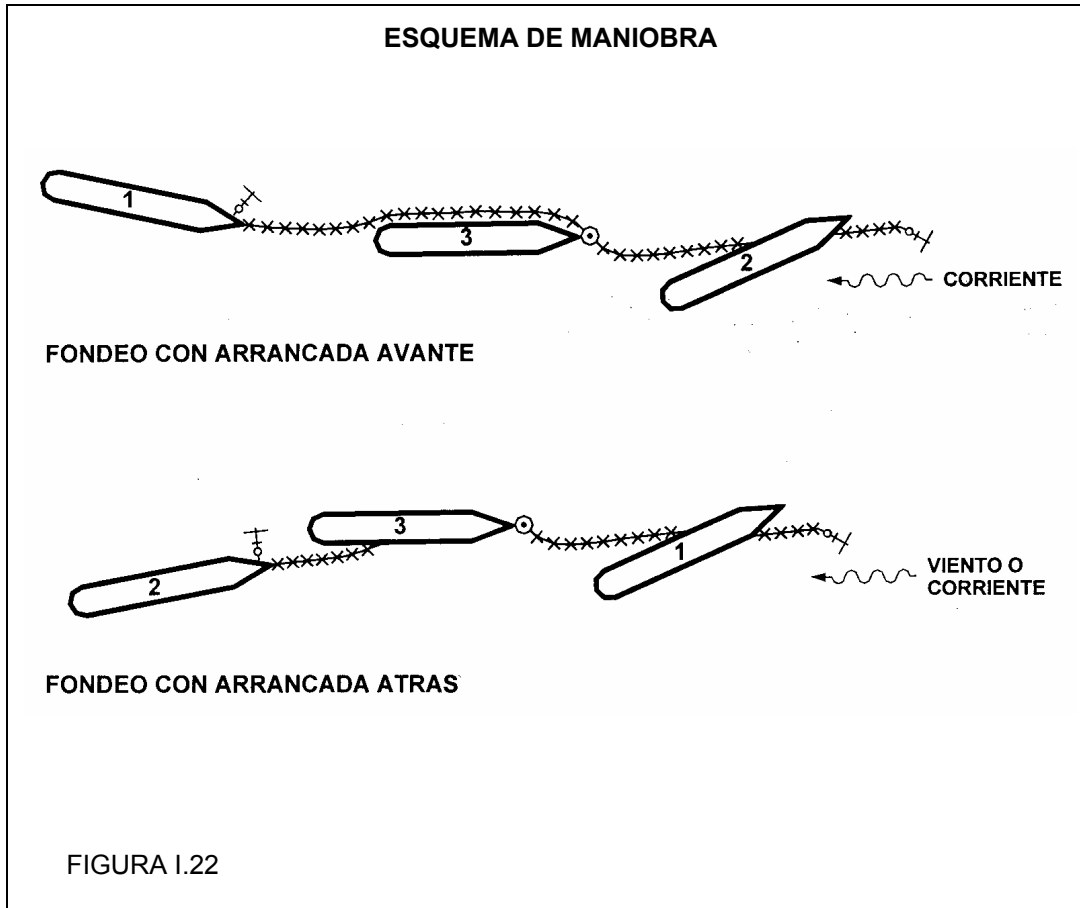
### OBSERVACIONES

La maniobra de fondear en áreas reducidas con corrientes fuertes suele ser difícil y poco segura, por lo que se recomienda evitarla si es factible.

## I.22. FONDEAR UN BUQUE CON DOS ANCLAS A LA ENTRANTE Y VACIANTE

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Vientos o corrientes actuando en la misma dirección pero alternativamente en sentidos opuestos.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

La maniobra de fondeo se puede realizar con arranca avante o atrás, tal como se esquematiza en estas figuras, según se de primero el ancla de sotavento (o sotacorriente) o el de barlovento (o barlocorriente). La forma en que se realizarán estas maniobras es similar a la que se describe en las figuras n° I.18 e I.19 respectivamente, dando atrás o avante después de haber fondeado el segundo ancla, cobrando de la primera cadena y largando de la segunda hasta igualar las dos.

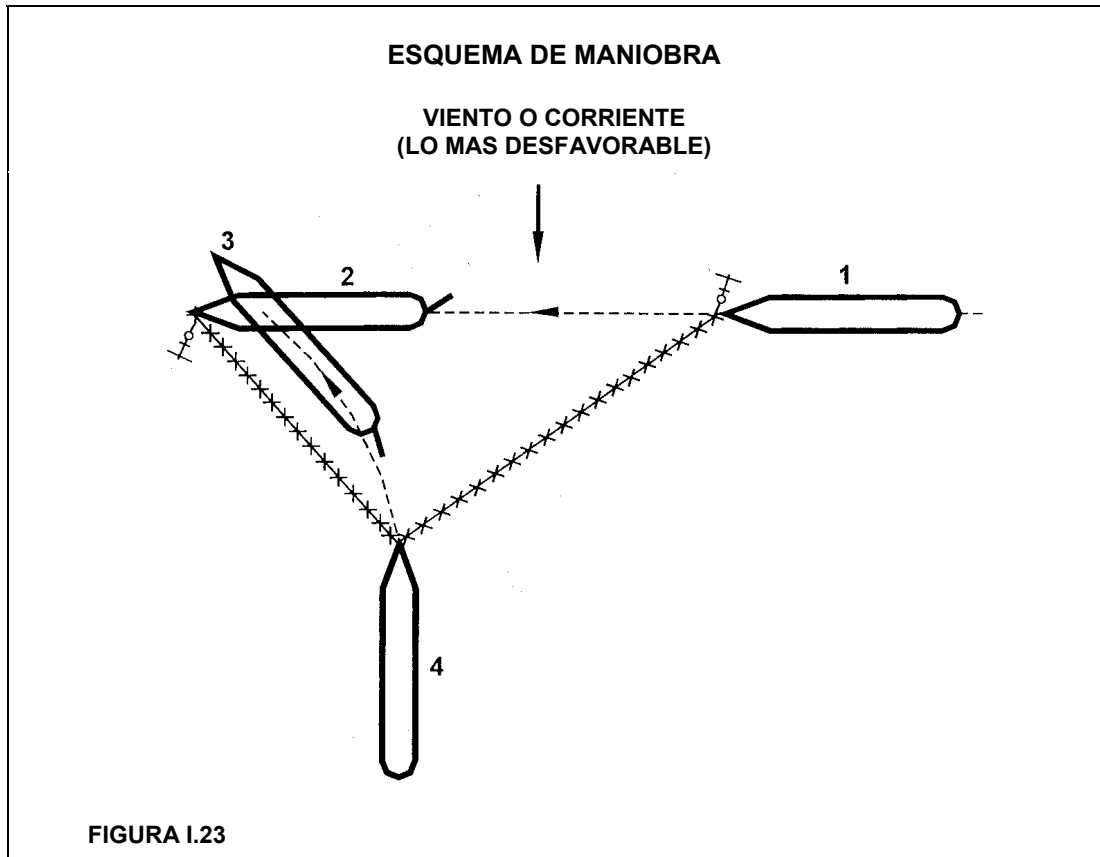
### OBSERVACIONES

El fondeo a la entrante y vaciante no es aplicable cuando existen vientos o corrientes transversales a la alineación definida por las dos anclas.

## I.23. FONDEAR UN BUQUE CON DOS ANCLAS A BARBAS DE GATO

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Vientos o corrientes en cualquier dirección, preferentemente transversales a la alineación de las anclas.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

El buque llega a la posición (1) correspondiente al primer punto de fondeo, con navegación avante y velocidad mínima para mantener el control. En esa posición larga el ancla de estribor, filando cadena sin retener para evitar la caída de la proa hacia esa banda. Antes de llegar a la segunda posición de fondeo se pone máquina atrás para cortar la arrancada y se mete el timón a estribor para controlar la caída del buque antes de largar el ancla de babor (2). Una vez fondeado este ancla se hace firme sobre la cadena del ancla de estribor lo que produce el giro de la proa hacia la posición (3) antes de iniciar el recorrido en marcha atrás con timón a babor hasta alcanzar la posición final (4).

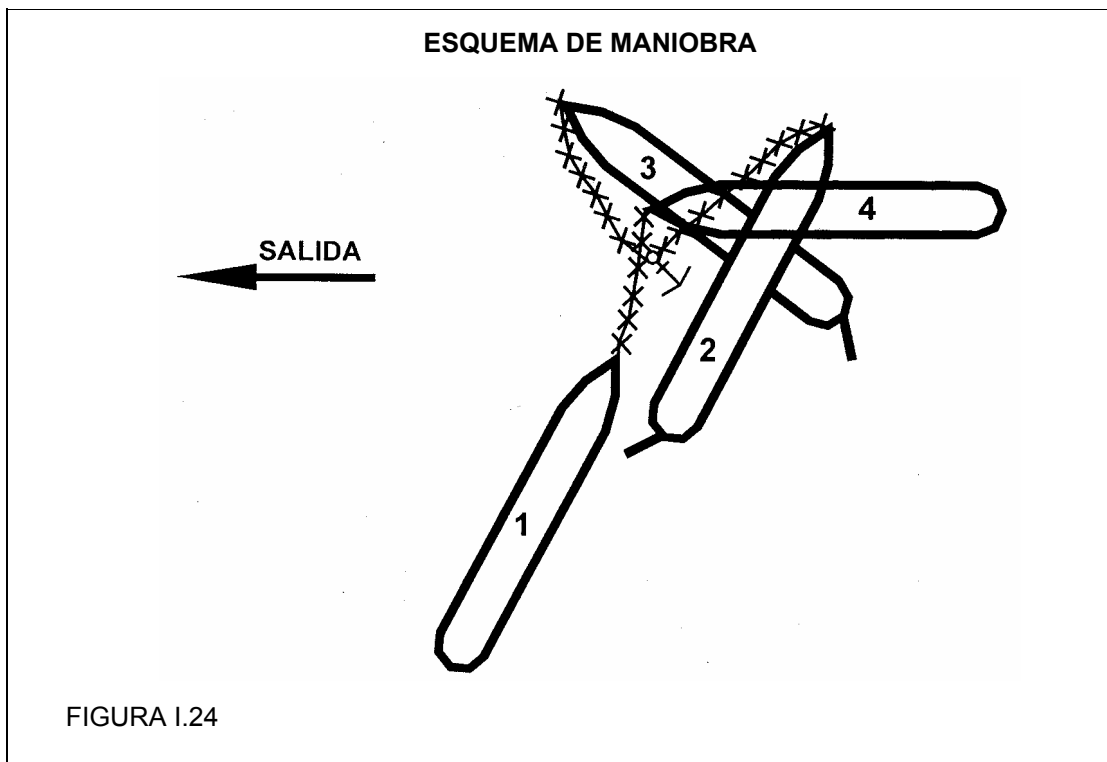
### OBSERVACIONES

En el caso de que el viento y la corriente esperables no coincidan en la misma dirección de actuación se orientará el fondeo tomando en consideración la acción de efecto más desfavorable, que normalmente será la corriente.

## I.24. SALIR DE UN FONDO CON UN SOLO ANCLA

### CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZA LA MANIOBRA

Tiempo calmo (condiciones climáticas que no afecten significativamente a la maniobra) o con viento.



### BREVE DESCRIPCION DE LA MANIOBRA

Para salir de un fondeadero en tiempo calmo es aconsejable aproar primero el buque a la salida, lo que se consigue virando el buque sobre el ancla. Partiendo de la posición (1) en la que el buque se encuentre fondeado se da máquina avante con timón a la vía, con lo cual el buque se dirigirá hacia el ancla. Al alcanzar la posición (2) la cadena estará llamando por la popa y al dar máquinas poco avante y poner el timón a la banda de babor el barco virará hasta la posición (3), en la que se puede cobrar del ancla desplazándose la proa al punto en el que está fondeado, con lo que se podrá levantar quedando el barco aproado a la salida (4).

Si hay viento la maniobra de dejar el fondeadero es sencilla ya que el buque caerá fácilmente a una u otra banda. Si el rumbo de salida es de través con el viento debe tenerse mucha precaución mientras se leva el ancla, de no recibir el viento por la amura de la banda a la que se debe caer para dirigirse a la salida; si esto ocurre será muy difícil virar al buque contra el viento.

### OBSERVACIONES

Si el buque es de dos hélices la maniobra de virar para orientarse a la salida es mucho más rápida, ya que basta con dar avante la hélice de la banda opuesta al ancla fondeada.

**ASPECTOS TECNICOS  
DE LA RESOLUCION  
A 572 (14) DE LA OMI**

---

**ANEJO II**



## ANEJO II

# ASPECTOS TECNICOS DE LA RESOLUCION A.572 (14) DE LA OMI

	Indice
<b>II.1. OBJETIVOS</b> .....	417
<b>II.2. DEFINICIONES</b> .....	417
<b>II.3. METODOS</b> .....	419
II.3.1. SEPARACION DE CORRIENTES DE TRAFICO OPUESTAS MEDIANTE ZONAS DE SEPARACION, O MEDIANTE LI- NEAS DE SEPARACION CUANDO NO SEA POSIBLE ES- TABLECER ZONAS .....	419
II.3.2. SEPARACION DE CORRIENTES DE TRAFICO OPUESTAS MEDIANTE OBSTACULOS NATURALES Y OBJETOS DE- FINIDOS GEOGRAFICAMENTE .....	419
II.3.3. SEPARACION ENTRE EL TRAFICO DIRECTO Y EL TRAFICO LOCAL MEDIANTE ZONAS DE NAVEGACION COS- TERA .....	420
II.3.4. DISPOSITIVOS ADYACENTES DE SEPARACION DE TRAFI- COS DIVIDIDOS POR SECTORES EN LOS ACCESOS A LOS PUNTOS DE CONVERGENCIA .....	421
II.3.5. ORGANIZACION DEL TRAFICO EN LOS PUNTOS DE CON- VERGENCIA Y EN LOS DE UNION DE DERROTAS EN QUE SE ENCUENTRAN DISPOSITIVOS DE SEPARACION DE TRAFICOS .....	421
a. Confluencias de giro .....	421
b. Puntos de unión .....	422
c. Zonas de precaución .....	423
<b>II.3.6. OTROS METODOS DE ORGANIZACION DEL TRAFICO</b> .....	424
<b>II.4. PLANIFICACION</b> .....	426
<b>II.5. CRITERIOS DE CONCEPCION</b> .....	427
a. Generalidades .....	428
b. Dispositivos de separación del tráfico .....	428

c. Zonas de convergencia y unión .....	429
d. Derrotas en aguas profundas .....	429
<b>II.6. AJUSTES TEMPORALES DE LOS DISPOSITIVOS DE SE- PARACION DEL TRAFICO .....</b>	<b>429</b>
<b>II.7. UTILIZACION DE LOS SISTEMAS DE ORGANIZACION DEL TRAFICO .....</b>	<b>431</b>
<b>II.8. REPRESENTACION EN LAS CARTAS .....</b>	<b>432</b>



II.01.	Separación del tráfico mediante zona y línea .....	419
II.02.	Separación del tráfico mediante obstáculos naturales .....	420
II.03.	Zonas de navegación costera .....	420
II.04.	Dispositivos adyacentes de separación del tráfico divididos por sectores en los accesos a los puntos de convergencia .....	421
II.05.	Separación del tráfico en una confluencia de giro .....	421
II.06.	Separación del tráfico en un cruce .....	422
II.07.	Separación del tráfico en un punto de unión .....	422
II.08.	Punto de unión en el que se utiliza una línea de separación en vez de una zona de separación, por donde pasará tráfico que cruza .....	422
II.09.	Zona de precaución en un punto de convergencia .....	423
II.10.	Zona de precaución con la dirección recomendada para el tráfico en torno a una zona a evitar .....	423
II.11.	Zona de precaución en un punto de unión, con direcciones recomendadas para el tráfico .....	423
II.12.	Derrota en aguas profundas (de dos direcciones) .....	424
II.13.	Derrota en aguas profundas de una dirección (en el interior de una vía de circulación) .....	424
II.14.	Direcciones recomendadas para el tráfico entre dos dispositivos de separación del tráfico .....	425
II.15.	Derrotas de dos direcciones (con tramos de una sola dirección) .....	425
II.16.	Derrotas recomendadas .....	425
II.17.	Ejes de circulación recomendados (en negro) .....	426
II.18.	Zona a evitar .....	426
II.19.	Ajuste temporal pequeño en el dispositivo .....	430
II.20.	Separación temporal del dispositivo .....	430
II.21.	Interrupción local temporal del dispositivo .....	430



---

II.1.	Uso de las leyendas en las cartas y en las notas .....	432
II.2.	Signos recomendados para representar los elementos básicos de las medidas de organización del tráfico .....	432
II.3.	Representación gráfica detallada de los signos indicadores de delimitaciones .....	434
II.4.	Advertencias y notas explicativas en las cartas .....	435



### II. 1. OBJETIVOS

a. La organización del tráfico marítimo tiene por objeto acrecentar la seguridad de la navegación en las zonas de convergencia y en aquellas otras en que hay gran densidad de tráfico o en las que la libertad de movimiento de los buques se ve disminuida por restricciones de espacio, obstáculos para la navegación, limitaciones de profundidad o condiciones meteorológicas desfavorables.

b. Los objetivos concretos de todo sistema de organización del tráfico dependerán de las circunstancias de peligro que se quieran atenuar en cada caso, pero entre ellos podrán figurar algunos de los siguientes, en su totalidad o en parte:

1. separar corrientes de tráfico opuestas a fin de reducir la frecuencia de casos en que los buques lleven rumbos encontrados;
2. reducir los peligros de abordaje entre buques que crucen vías de circulación establecidas y los que naveguen por estas vías;
3. simplificar las características de la corriente del tráfico en las zonas de convergencia;
4. organizar un tráfico seguro en zonas de gran densidad de explotación o explotación mar adentro;
5. organizar el tráfico dentro de zonas en que la navegación sea peligrosa o no aconsejable para todos los buques o para ciertas clases de buques, o alrededor de dichas zonas;
6. reducir riesgos de varada dando a los buques orientación especial en las zonas en que sea incierta o crítica la profundidad del agua;
7. encauzar el tráfico separándolo de los caladeros u organizarlo a través de éstos.

### II.2 DEFINICIONES

a. En todo lo relacionado con la organización del tráfico marítimo se utilizan las siguientes expresiones (estas definiciones de la OMI se incorporan a la terminología de la presente ROM. Las expresiones marcadas con (\*) se emplean también en el Reglamento de Abordajes 1972):

#### 1. *Sistema de organización del tráfico*

Todo sistema constituido por una o más derrotas y/o medidas de organización del tráfico, destinadas a reducir el riesgo de siniestros; comprende dispositivos de separación del tráfico, derrotas de dos direcciones, ejes de circulación recomendados, zonas a evitar, zonas de navegación costera, confluencias de giro, zonas de precaución y derrotas en aguas profundas.

#### 2. *Dispositivo de separación del tráfico\**

Medida de organización del tráfico destinada a separar corrientes de tráfico opuestas por medios adecuados o mediante el establecimiento de vías de circulación.

### 3. *Zona o línea de separación\**

Zona o línea que separa vías de circulación de buques que navegan en direcciones opuestas o casi opuestas; o que separa una vía de circulación de la zona marítima adyacente; o que separa vías de circulación designadas para determinadas clases de buques que navegan en la misma dirección.

### 4. *Vía de circulación\**

Zona claramente delimitada, dentro de la cual se establece el tráfico en dirección única. Los obstáculos naturales, incluidos los que formen zonas de separación, pueden constituir un límite.

### 5. *Confluencia de giro*

Medida de organización del tráfico que comprende un punto de separación o una zona de separación circular y una vía de circulación giratoria dentro de límites definidos. Dentro de la confluencia de giro el tráfico se separa desplazándose en dirección contraria a las manecillas del reloj alrededor del punto de la zona de separación.

### 6. *Zona de navegación costera\**

Medida de organización del tráfico que comprende una zona especificada entre la costa y el límite más próximo de un dispositivo de separación del tráfico y que debe ser utilizada de conformidad con lo dispuesto en la regla 10 d), en su forma enmendada, del Reglamento internacional para prevenir los abordajes (Reglamento de Abordajes), 1972.

### 7. *Derrota de dos direcciones*

Derrota claramente delimitada, dentro de la cual se establece el tráfico en ambas direcciones, destinada a proporcionar a los buques tránsito seguro por aguas en que la navegación es difícil o peligrosa.

### 8. *Derrota recomendada*

Derrota en anchura indefinida, destinada a facilitar la navegación a los buques en tránsito y frecuentemente marcada por boyas en la línea axial.

### 9. *Eje de circulación recomendado*

Derrota que ha sido especialmente inspeccionada para garantizar, en la medida de lo posible, que está libre de peligros y por la cual se aconseja a los buques navegar.

### 10. *Derrota en aguas profundas*

Derrota claramente delimitada que ha sido hidrografiada con precisión para determinar las sondas y la posible presencia de obstáculos sumergidos, tal como se indica en la carta.

### 11. *Zona de precaución*

Medida de organización del tráfico que comprende una zona claramente delimitada en la que los buques han de navegar con especial precaución y dentro de la cual se puede recomendar la dirección del tráfico.

### 12. *Zona a evitar*

Medida de organización del tráfico que comprende una zona claramente delimitada en la que la navegación es particularmente peligrosa o en la que es excepcionalmente importante impedir que se produzcan siniestros, y que deben evitar todos los buques o ciertas clases de buques.

13. *Dirección establecida del tráfico*

Una representación del tráfico que indica el sentido de éste, según lo establecido dentro de un dispositivo de separación del tráfico.

14. *Dirección recomendada del tráfico*

Una representación del tráfico que indica el sentido recomendado de éste donde no es práctico o es innecesario adoptar una dirección establecida del tráfico.

## II.3 METODOS

Para lograr los objetivos indicados en el apartado II.1 cabe utilizar entre otros, los métodos siguientes:

### II.3.1. SEPARACIÓN DE CORRIENTES DE TRAFICO OPUESTAS MEDIANTE ZONAS DE SEPARACIÓN, O MEDIANTE LINEAS DE SEPARACIÓN CUANDO NO SEA POSIBLE ESTABLECER ZONAS

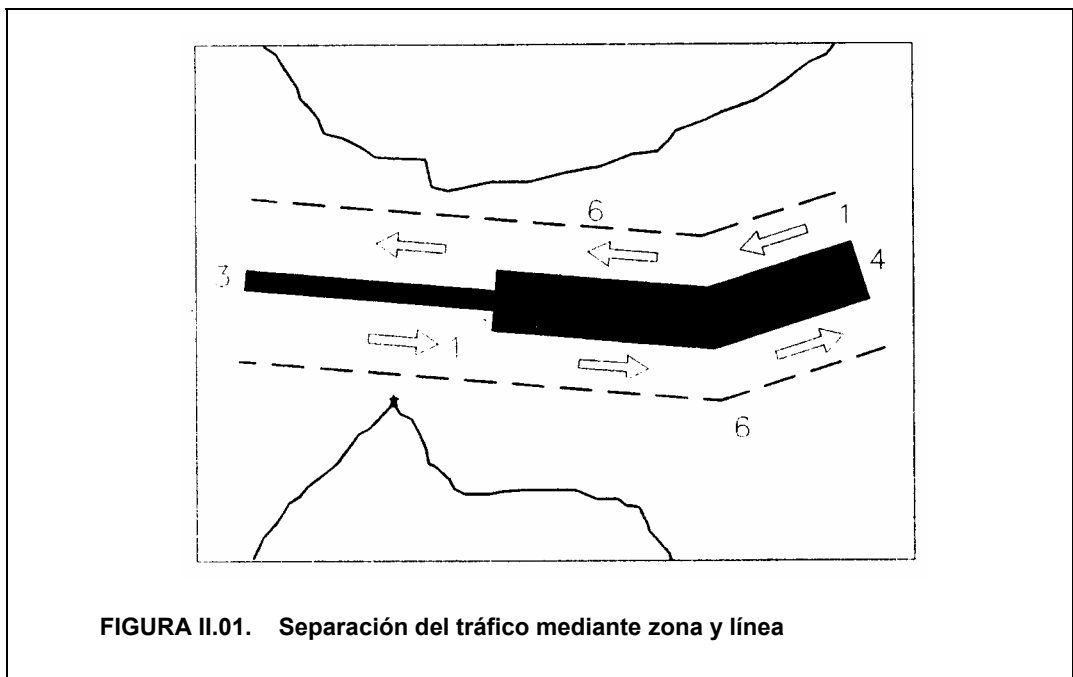
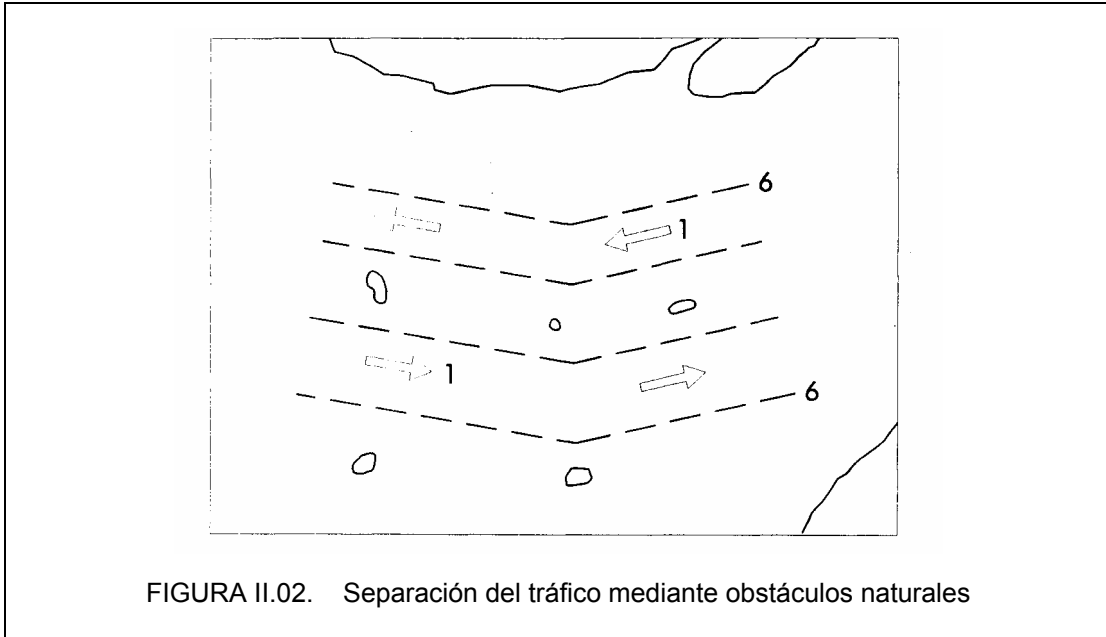


FIGURA II.01. Separación del tráfico mediante zona y línea

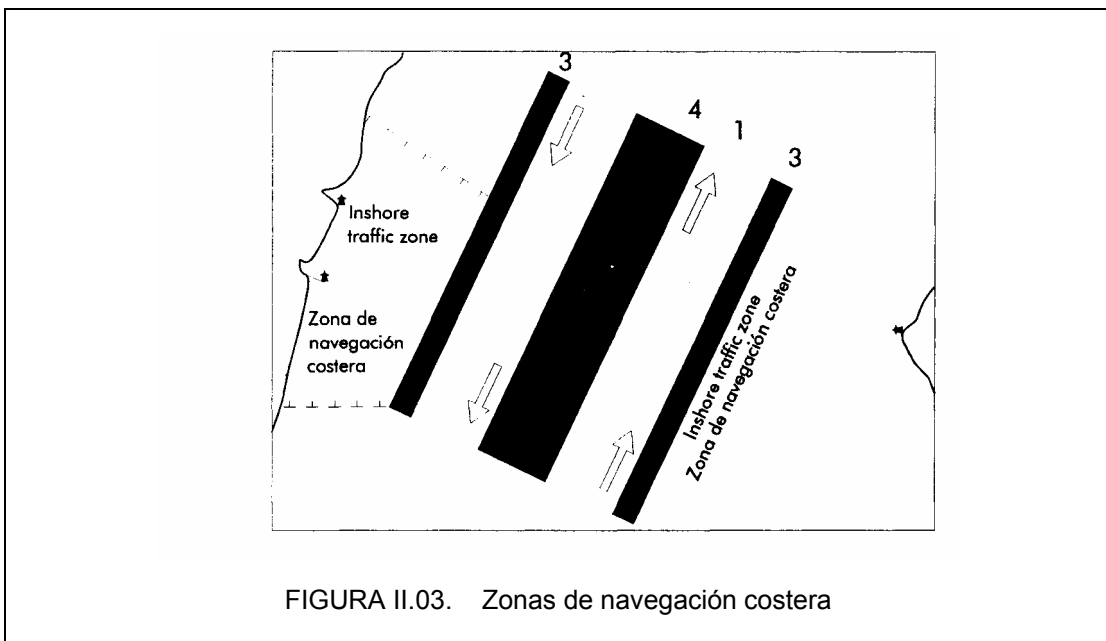
De acuerdo con este método las corrientes de tráfico que van en direcciones opuestas o casi opuestas se separan mediante zonas (4) o líneas (3) de separación; es preferible utilizar zonas, pero en pasos estrechos y en aguas restringidas puede hacerse necesario utilizar una línea de separación en vez de una zona a fin de dejar más espacio navegable en las vías de circulación. Se puede asimismo sustituir una zona por una línea de separación en lugares en que con tal sustitución quepa fomentar el empleo de los procedimientos correctos y facilitar ese empleo al tráfico que cruza. Los límites exteriores (6) de tales dispositivos de separación del tráfico son los límites exteriores de las vías de circulación. Las flechas (1) indican la dirección de la corriente de tráfico establecida.

### II.3.2. SEPARACIÓN DE CORRIENTES DE TRAFICO OPUESTAS MEDIANTE OBSTACULOS NATURALES Y OBJETOS DEFINIDOS GEOGRAFICAMENTE

Este método se emplea en lugares donde existe una zona definida con obstáculos tales como islas, bajos fondos o rocas que reducen la libertad de movimiento y proporcionan una separación natural de las corrientes de tráfico opuestas.



### II.3.3. SEPARACION ENTRE EL TRAFICO DIRECTO Y EL TRAFICO LOCAL MEDIANTE ZONAS DE NAVEGACION COSTERA



Fuera de los límites exteriores de los dispositivos de separación del tráfico, los buques pueden navegar en cualquier dirección. Cuando esas zonas estén situadas entre el dispositivo de separación del tráfico y la costa se les podrá designar como zonas de navegación costera (véanse asimismo las figuras II.4 y II.10), con objeto de separar el tráfico local del dispositivo de separación por el cual deberá pasar el tráfico directo.

El tráfico de las zonas de navegación costera está separado del de la vía de circulación adyacente por zonas de separación (4) o por líneas de separación (3) (véanse, asimismo, las figuras II.4 y II.10).



### II.3.4. DISPOSITIVOS ADYACENTES DE SEPARACION DEL TRAFICO DIVIDIDOS POR SECTORES EN LOS ACCESOS A LOS PUNTOS DE CONVERGENCIA

Este método se emplea donde los buques, procedentes de varias direcciones, se unen en un punto de convergencia o en una zona pequeña. Se pueden considerar como tales puntos de convergencia los accesos a los puertos, las estaciones marítimas de prácticos, las zonas de emplazamiento de boyas de recalada o de buques faro, las entradas a estrechos, canales, estuarios, etc.

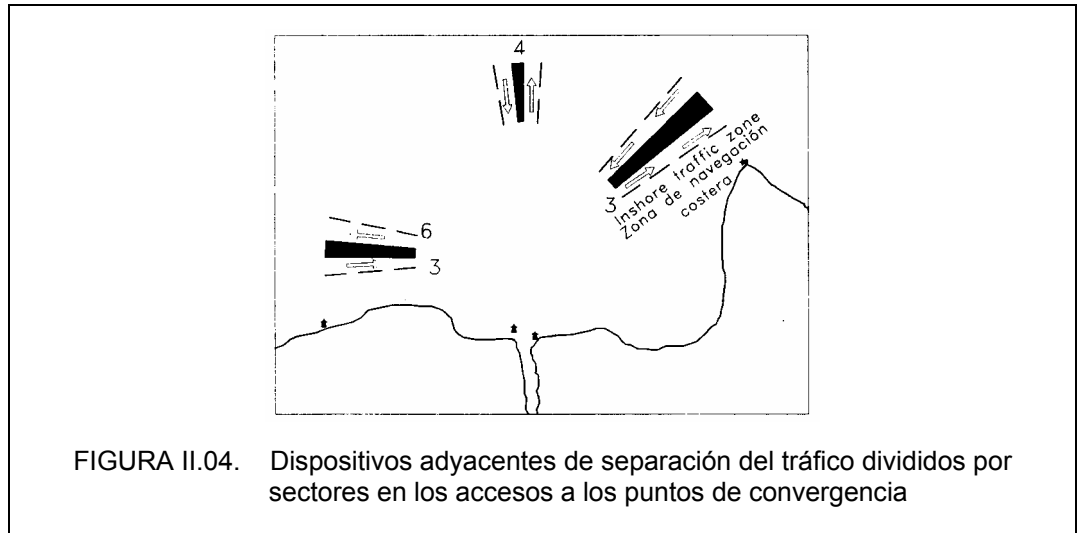


FIGURA II.04. Dispositivos adyacentes de separación del tráfico divididos por sectores en los accesos a los puntos de convergencia

### II.3.5. ORGANIZACION DEL TRAFICO EN LOS PUNTOS DE CONVERGENCIA Y EN LOS DE UNION DE DERROTAS EN QUE SE ENCUENTRAN DISPOSITIVOS DE SEPARACION DEL TRAFICO

La medida de organización del tráfico que haya que utilizar en puntos de convergencia, puntos de unión de derrotas y cruces será la constituida por e método más apropiado que quepa seleccionar de entre los siguientes:

#### a. *Confluencias de giro*

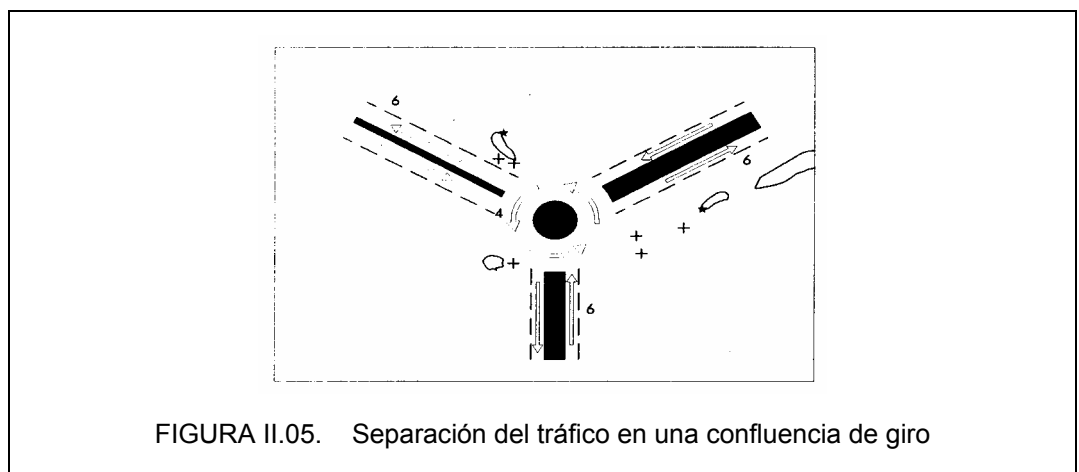


FIGURA II.05. Separación del tráfico en una confluencia de giro

Si se puede demostrar que es necesario, cabrá utilizar una confluencia de giro para encauzar el tráfico alrededor de una zona circular de separación (4) o de un punto especificado, en sentido contrario al de las manecillas del reloj, en la forma arriba ilustrada (figura II.05).

b. **Puntos de unión**

Estos métodos se utilizan donde dos derroteros se unen o se cruzan. Las direcciones del tráfico se establecen en las vías de los dispositivos adyacentes; la zona de separación puede estar interrumpida, como indican las figuras II.06 y II.07, o sustituida por una línea de separación, como indica la figura II.08, para destacar cuál es el método correcto de cruce que el tráfico que pase de uno a otro dispositivo ha de utilizar.

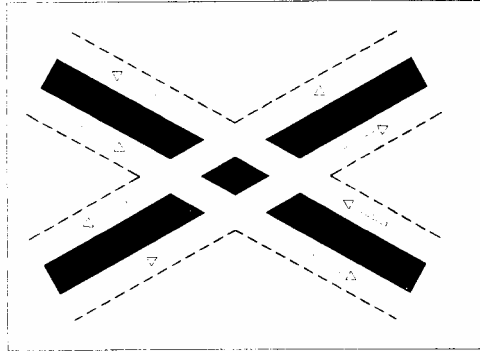


FIGURA II.06. Separación del tráfico en un cruce

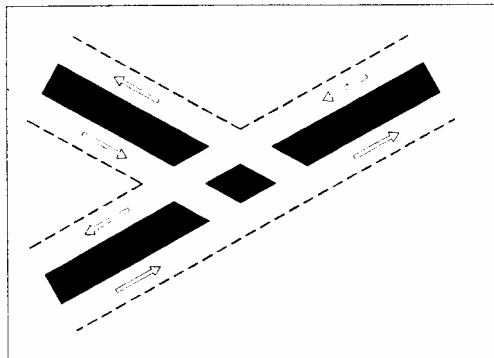


FIGURA II.07. Separación del tráfico en un punto de unión

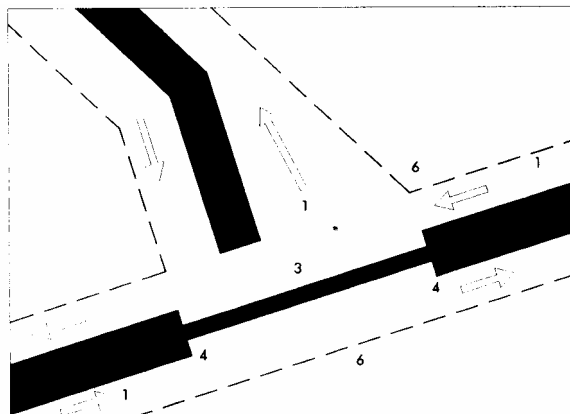
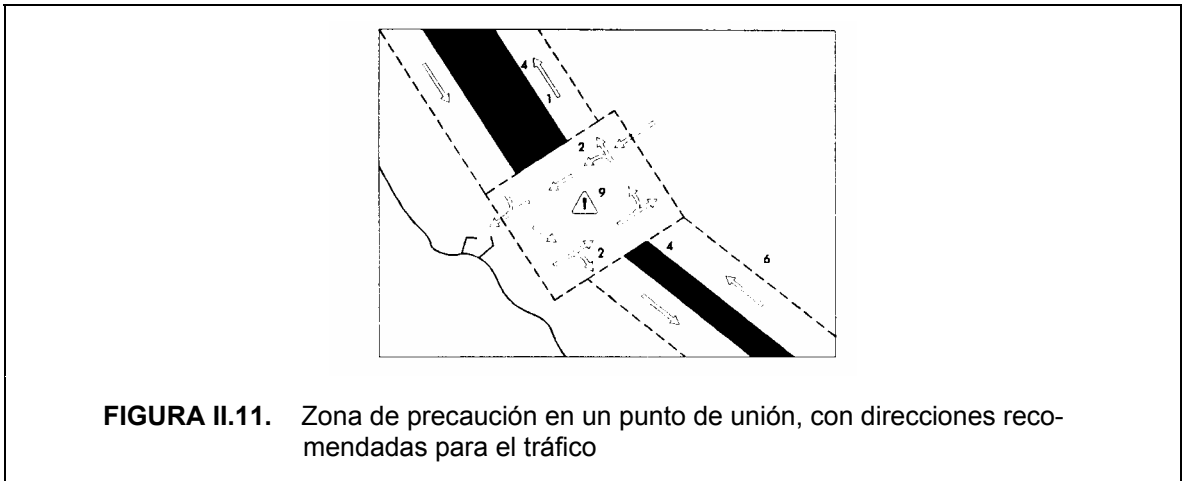
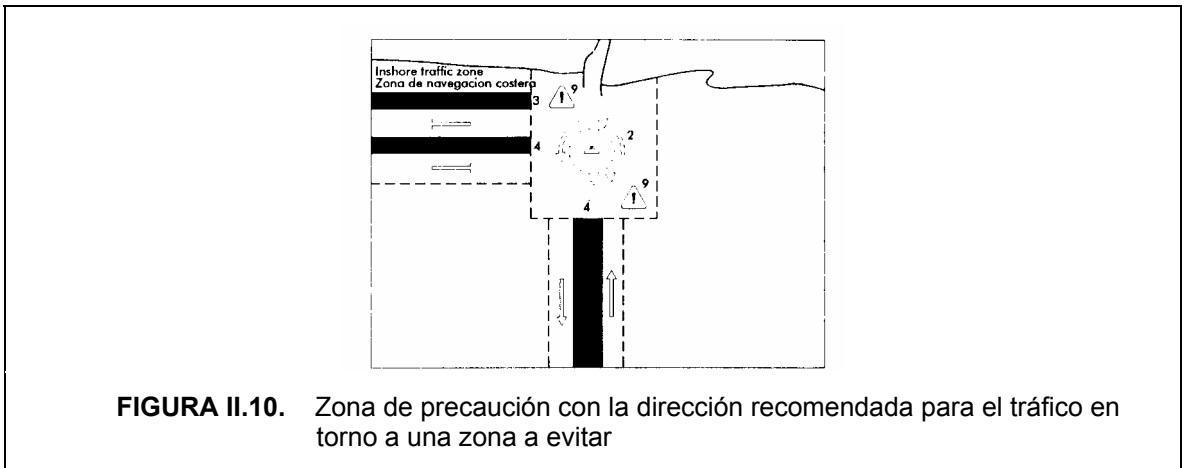
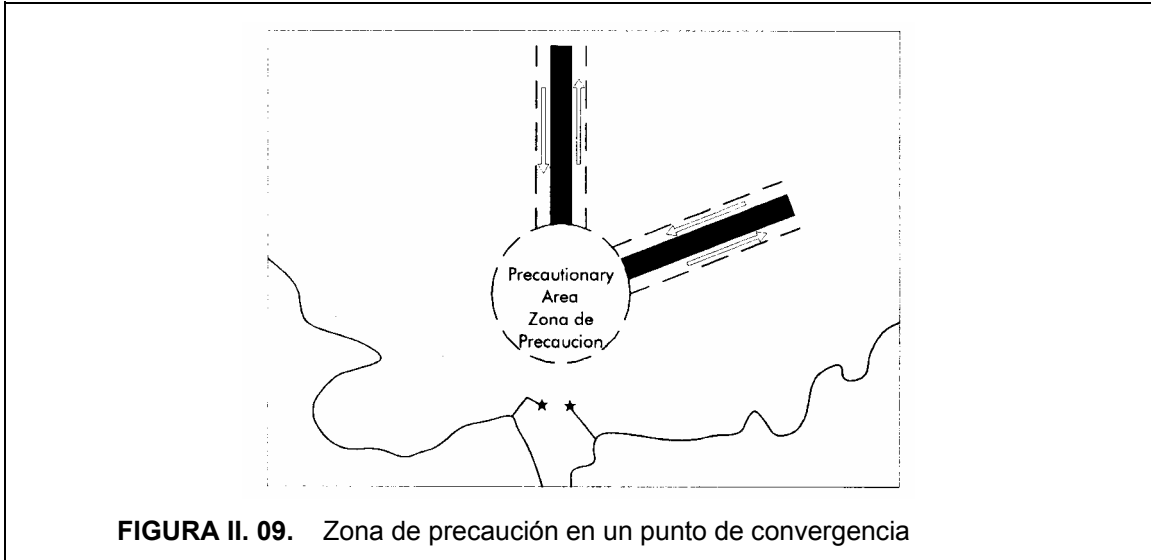


FIGURA II.08. Punto de unión en el que se utiliza una línea de separación en vez de una zona de separación, por donde pasará tráfico que cruza

c. **Zonas de precaución**

Si se trata de derrotas convergentes la mejor solución puede consistir en hacer que terminen antes de que lleguen a unirse, en cuyo caso cabe instituir una zona de precaución (9) que ponga de relieve la necesidad de navegar con prudencia. Las figuras II.09 y II.10 ilustran el uso de una zona tal en puntos de convergencia; se puede recomendar una dirección para el tráfico (2) en torno a punto de convergencia, según indica la figura II.10.



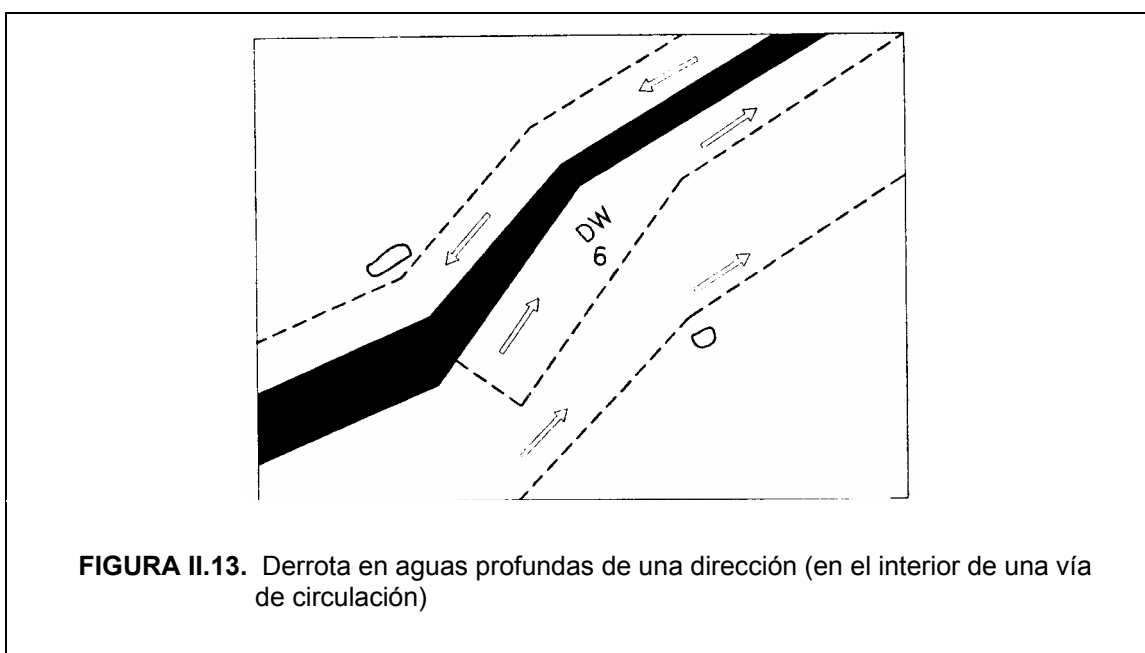
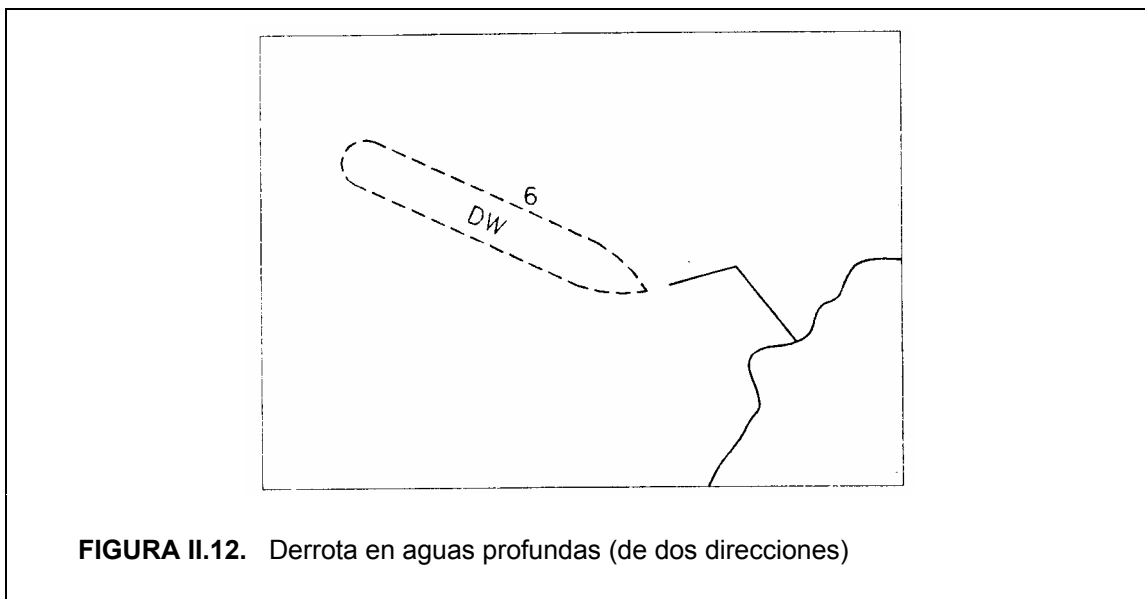
La figura II.11 muestra un ejemplo de cómo cabe utilizar una zona de precaución (9) en un punto de unión donde hay tráfico que cruza. Se hace que las vías de circulación terminen un poco antes de llegar al punto donde se espera que el tráfico cruce, y se las sustituye por una zona de precaución dentro de la cual se indican las direcciones recomendadas para el tráfico (2).

Las zonas de precaución se pueden utilizar también en la terminación de cualquier derrota aislada.

### II.3.6. OTROS MÉTODOS DE ORGANIZACIÓN DEL TRÁFICO

Otros métodos que cabe utilizar según indican las figuras II.12 a II.18 son:

- a. *derrotas en aguas profundas* (figuras II.12 y II.13)
- b. *zonas a evitar* (figuras II.10 y II.18)
- c. *direcciones recomendadas para el tráfico* (figura II.14), *derrotas de dos direcciones* (figura II.15), y *derrotas recomendadas y ejes de circulación recomendados a través de zonas en que la navegación sea difícil o peligrosa* (figura II.16 y II.17)



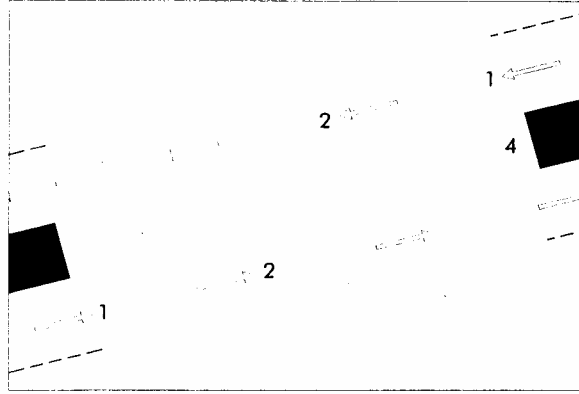


FIGURA II.14. Direcciones recomendadas para el tráfico entre dos dispositivos De separación del tráfico

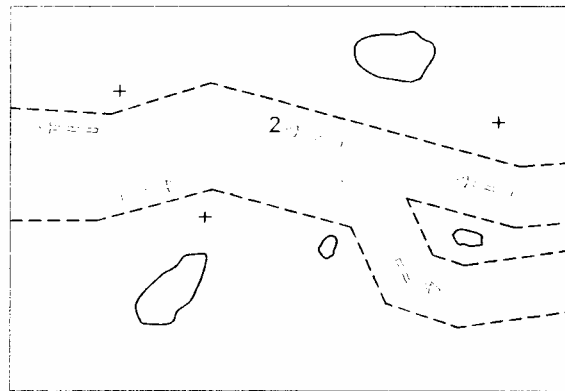


FIGURA II.15. Derrotas de dos direcciones (con tramos de una sola dirección)

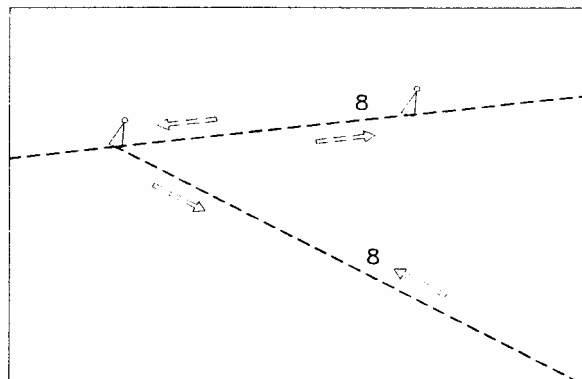
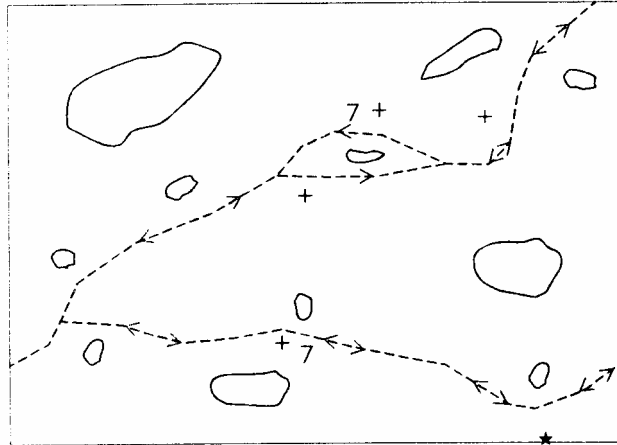
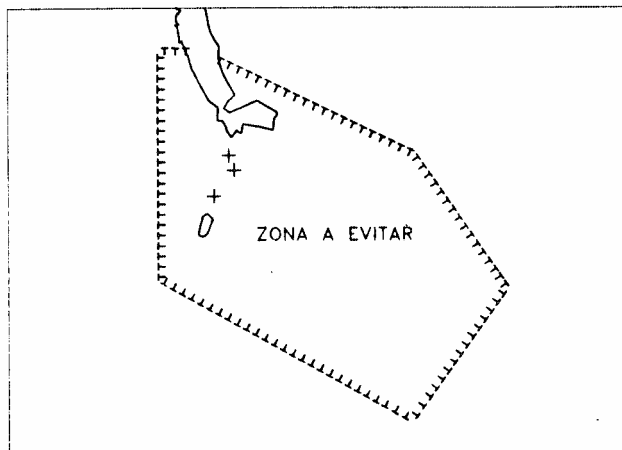


FIGURA II.16. Derrotas recomendadas



**FIGURA II.17.** Ejes de circulación recomendados (en negro)



**FIGURA II. 18.** Zona a evitar

## II. 4 PLANIFICACION

- a. Sólo se establecerán sistemas de organización del tráfico cuando sea evidente que con ellos se puede acrecentar la seguridad de la navegación en la zona de que se trate.
- b. El objeto del sistema de organización del tráfico elegido para una zona determinada debe ser proporcionar a los buques un tránsito seguro a través de dicha zona sin restringir indebidamente derechos y costumbres legítimos y teniendo en cuenta riesgos de navegación previstos o existentes.
- c. Entre los factores que habrán de tener en cuenta los Gobiernos que planifiquen, establezcan, revisen o modifiquen un sistema de organización del tráfico, figuran los siguientes:
  1. los derechos y las costumbres de los Gobiernos en lo que respecta a la explotación de los recursos vivos y minerales;
  2. los sistemas de organización del tráfico anteriormente establecidos en aguas adyacentes, estén o no bajo la jurisdicción del Gobierno proponente;

3. las características del tráfico existente en la zona de que se trate, comprendidos el tráfico de cabotaje, el de cruce, las zonas de maniobras navales y las zonas de fondeo;
4. las alteraciones que se prevean en las características del tráfico como resultado de los cambios experimentados por puertos o terminales mar adentro;
5. la presencia de caladeros:
6. las actividades existentes y los cambios previsibles en cuanto a la exploración mar adentro o a la explotación de los fondos y del subsuelo marinos;
7. la idoneidad de las ayudas a la navegación, de los reconocimientos hidrográficos y de las cartas náuticas de la zona ya existentes;
8. los factores ambientales, incluidas las condiciones meteorológicas predominantes, las corrientes de las mareas y la posibilidad de concentraciones de hielo; y
9. la existencia de zonas de conservación del medio ambiente y los cambios previsibles en el establecimiento de tales zonas.

d. Los sistemas de organización del tráfico serán objeto de revisiones, nuevos reconocimientos hidrográficos y modificaciones, según sea necesario, de modo que conserven su eficacia y su compatibilidad con las características del tráfico comercial, la exploración mar adentro y la explotación de recursos, y los cambios producidos en la profundidad de las aguas y en otros aspectos.

e. No se establecerán los sistemas de organización del tráfico en zonas en que la inestabilidad de los fondos marinos pueda dar lugar a alteraciones frecuentes en la enfilación y las posiciones de los canales principales y, por consiguiente, del sistema de organización del tráfico propiamente dicho.

f. Cuando se establezcan zonas que todos los buques o ciertas clases de buques deban evitar, habrá que demostrar claramente la necesidad de crear tales zonas y exponer las razones que haya para ello. En general se establecerán esas zonas únicamente en parajes en que la imperfección de los reconocimientos o la insuficiencia de las ayudas a la navegación pueda originar un peligro de varada, o cuando se considere esencial conocer las características locales de la zona para atravesar ésta con seguridad, o cuando exista el riesgo de causar daños inaceptables al medio ambiente a consecuencia de un siniestro, o cuando una ayuda de capital importancia para la navegación pueda correr un riesgo. Estas zonas no se considerarán zonas prohibidas a menos que hayan sido declaradas específicamente como tales; habrá que considerar en cada caso particular qué clases de buques deben evitar las diversas zonas.

g. Al estudiar la posibilidad de establecer un nuevo sistema de organización del tráfico o de modificar uno existente, los Gobiernos deberán celebrar primeramente consultas con:

1. los navegantes que utilizan la zona;
2. las autoridades encargadas de las ayudas a la navegación y de los reconocimientos hidrográficos y publicaciones náuticas;
3. las autoridades portuarias; y
4. las organizaciones que se ocupan de la pesca, de las actividades de exploración o explotación mar adentro y de la protección del medio, según proceda.

Este proceso de consultas va implícito en varios párrafos de la Resolución A.572 (14) que se reproduce.

## **II.5 CRITERIOS DE CONCEPCION**

En la concepción de las medidas de organización del tráfico marítimo se aplicarán, hasta donde las circunstancias lo permitan, las normas siguientes.

#### **a. Generalidades**

1. Las derrotas habrán de ajustarse todo lo posible a las características del tráfico existente en las zonas, de acuerdo con lo determinado mediante reconocimientos del tráfico.
2. La configuración y la longitud de los sistemas de organización del tráfico que se establezcan para habilitar un paso libre de obstáculos a través de las zonas de exploración y explotación mar adentro, podrán diferir, en cuanto a sus dimensiones, de los sistemas normalmente establecidos, si para garantizar ese paso libre está justificada una medida especial de este tipo.
3. Los cambios de rumbo a lo largo de una derrota serán los menos posibles y deberán ser evitados en los accesos a las zonas de convergencia y a los puntos de unión de derrotas o en los lugares en que quepa esperar intenso tráfico de cruce.
4. Las zonas de convergencia y los puntos de unión de derrotas se reducirán a un número mínimo y estarán tan separadas entre sí como sea posible. Los dispositivos de separación del tráfico adyacentes estarán situados de manera que las corrientes del tráfico que sigan direcciones casi opuestas en dichos dispositivos adyacentes queden lo más separadas posible. Los puntos de unión de derrotas no estarán emplazados donde quepa esperar un tráfico de cruce denso que no siga las derrotas establecidas, como, por ejemplo, el tráfico de transbordadores.
5. Las derrotas se concebirán de manera que permitan hacer óptimo uso de las ayudas a la navegación existentes en la zona y de aquéllas otras cuya instalación a bordo dispongan o recomienden los convenios internacionales o las resoluciones y recomendaciones de la OMI.
6. El estado de los reconocimientos hidrográficos efectuados dentro de los límites de un sistema de organización del tráfico y de los accesos a éste deberá ser tal que las autoridades encargadas de levantar las cartas náuticas dispongan de la información completa sobre las actuales profundidades del agua y los peligros para la navegación de superficie.

#### **b. Dispositivos de separación del tráfico**

1. La extensión de todo dispositivo de separación del tráfico estará circunscritas a la que sea esencial para la seguridad de la navegación.
2. Las vías de circulación se concebirán de manera que quepa hacer óptimo uso de las profundidades de agua disponibles y de las zonas navegables exentas de riesgos, habida cuenta de la profundidad máxima que ofrezca el agua a lo largo de la derrota. La anchura de las vías habrá de responder a la densidad del tráfico, al uso general de la zona y al espacio disponible.
3. Cuando haya espacio suficiente se utilizarán zonas con preferencia a líneas para separar las corrientes del tráfico opuestas y para separar las zonas de navegación costera de las vías de circulación adyacentes. En circunstancias apropiadas también podrán utilizarse zonas o líneas para establecer una separación entre una vía de circulación y zonas marítimas adyacentes que no sean zonas de navegación costera, teniendo en cuenta la densidad del tráfico y la disponibilidad de medios para determinar la situación de los buques.
4. Los buques deberán poder determinar su situación en cualquier lugar situado dentro de los límites de un dispositivo de separación del tráfico, y en sus accesos inmediatos, de día y de noche, utilizando uno o más de los siguientes medios:
  - marcaciones visuales de objetos fácilmente identificables;
  - marcaciones y alcances de radar correspondientes a objetos fácilmente identificables;
  - marcaciones radiogoniométricas
5. Cuando se considere esencial dotar a un dispositivo de separación del tráfico de una vía adicional de circulación para los buques que transporten sustancias líquidas potencialmente peligrosas, a granel, de acuerdo con lo especificado en el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, en casos en que los buques no



puedan determinar su situación, con arreglo a lo estipulado en el párrafo II.5.b.4, en toda la zona correspondiente a dicha vía, y esta zona está abarcada por un sistema electrónico de determinación de la situación, se podrá tener en cuenta la existencia de tal sistema cuando se esté proyectando el dispositivo.

6. La anchura mínima de las vías de circulación y de las zonas de separación del tráfico estará en relación con la exactitud de los métodos de que se disponga para determinar situaciones, ajustándose a las pertinentes normas de rendimiento estipuladas para el equipo de a bordo en las resoluciones y recomendaciones de la OMI.

7. Cuando haya espacio suficiente para utilizar zonas de separación del tráfico, la anchura de la zona no será inferior, si esto resulta posible, el triple de la componente transversal del error típico (medido a través de la zona de separación) correspondiente al más apropiado de los métodos de determinación enumerados en el párrafo II.5.b.4. Cuando sea necesario o deseable, y factible, se dejará más separación con miras a hacer segura una pronta y adecuada indicación de que el tráfico que vaya en dirección opuesta pasará por la banda que le corresponda.

8. Si se duda de que los buques puedan determinar sus situaciones positivamente y sin ambigüedades con respecto a las líneas o zonas de separación, se considerará seriamente la posibilidad de establecer un balizamiento adecuado.

### **c. Zonas de convergencia y unión**

1. Cualquiera que sea el método de organización del tráfico que, de los varios que cabe utilizar, se elija en un punto de unión de derrotas o en una zona de convergencia, la necesidad de evitar ambigüedades o posibles fuentes de confusión en la aplicación del Reglamento de Abordajes, 1972, será un principio fundamental. Se tendrá especialmente en cuenta este principio al establecer o recomendar la dirección del tráfico en tales zonas. Si se adoptan direcciones recomendadas para el tráfico, en su determinación se tendrán plenamente en cuenta las características de dicho tráfico en la zona de que se trate, así como todas las demás disposiciones de organización del tráfico marítimo que sean aplicables.

2. En los puntos de unión de derrotas se tendrá en consideración especialmente la necesidad de:

- fomentar el cruce de las vías de circulación en un ángulo que se acerque al ángulo recto lo más posible;
- dar a los buques que en virtud del Reglamento de Abordajes, 1972, deban ceder el paso, el mayor espacio posible para maniobrar;
- permitir al buque que sigue a rumbo mantener éste de modo constante, tal como prescribe el Reglamento de Abordajes, 1972, durante el mayor tiempo posible antes de llegar al punto de unión de derrotas;
- alentar el tráfico que no siga una derrota establecida que evite cruzar en los puntos de unión de derrotas o cerca de ellos.

### **d. Derrotas en aguas profundas**

En la concepción de derrotas en aguas profundas se tendrá en consideración la conveniencia de balizar puntos críticos de evolución. Los restos de naufragios y los obstáculos que haya en el fondo del mar, dentro de los límites de una derrota en aguas profundas, se balizarán si la profundidad del agua que los cubre es menor que la sonda mínima indicada en las cartas para dicha derrota.

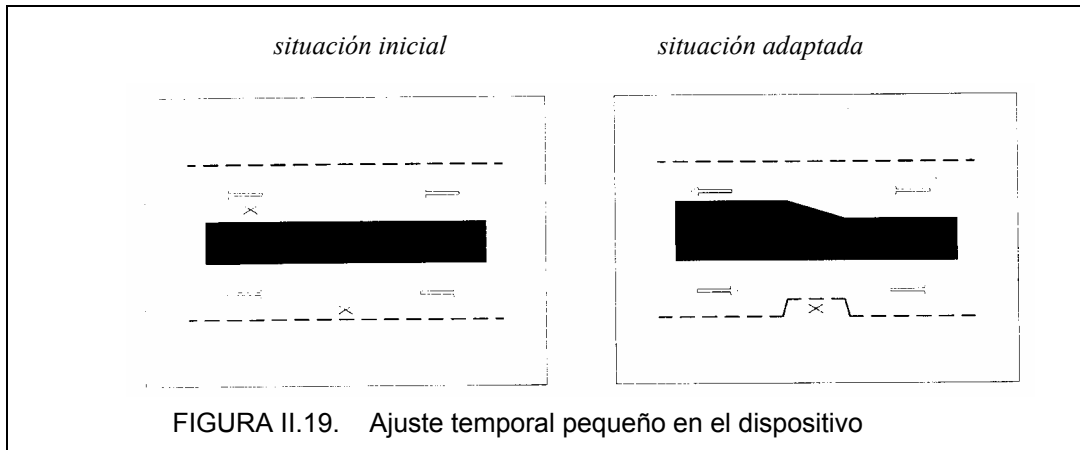
## **II.6 AJUSTES TEMPORALES DE LOS DISPOSITIVOS DE SEPARACION DEL TRAFICO**

a. Cuando no quepa evitar el emplazamiento temporal de una torre de prospección se tendrán en cuenta los criterios de concepción y las disposiciones de planificación antes de autorizar dicho emplazamiento o el ajuste posterior de un dispositivo de separación del tráfico.

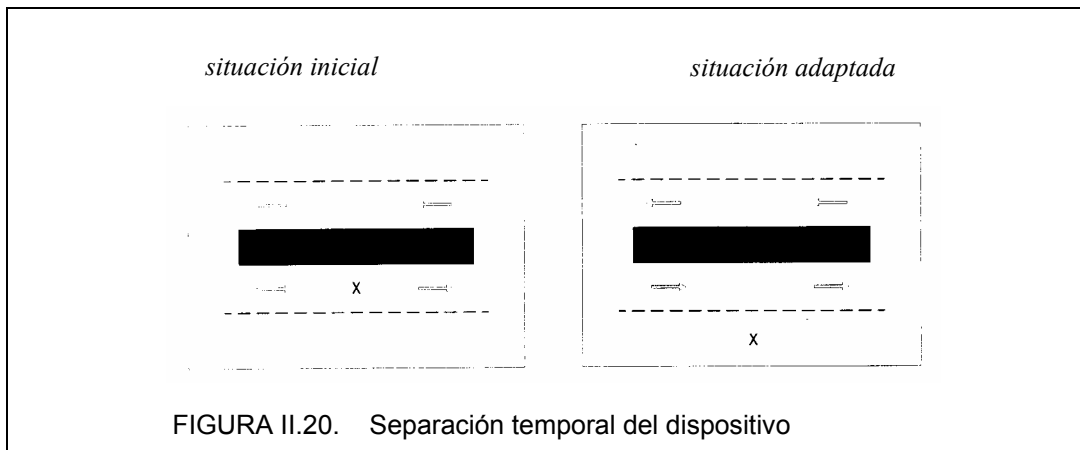
b. Se efectuarán los citados ajustes de conformidad con las siguientes directrices:

1. Cuando la ubicación de la perforación esté cerca del límite de una vía de circulación o de una zona de separación del tráfico, un ajuste relativamente pequeño en el dispositivo

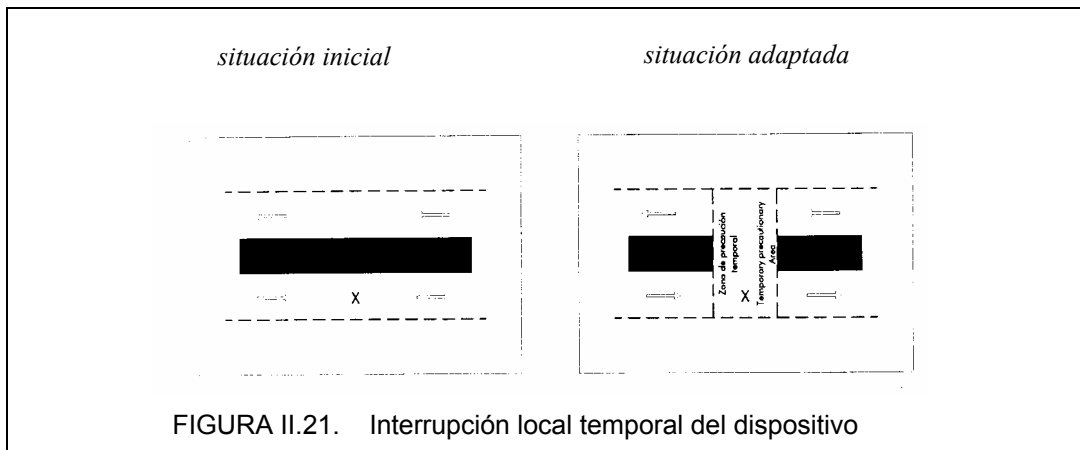
podrá dar como resultado que la torre de perforación y su correspondiente zona de seguridad queden separadas de la vía de circulación en medida suficiente;



2. si no es posible lograr un pequeño ajuste temporal de la vía de circulación, cabrá separar temporalmente de la zona de perforación la totalidad o parte del dispositivo, de modo que el tráfico relacionado con las operaciones de perforación queda fuera de la vía de circulación.



3. interrupción local temporal del dispositivo o de parte del mismo en la zona de ubicación de la torre de perforación. La extensión correspondiente a una interrupción semejante podría convertirse en zona de precaución;



4. suspensión temporal de todo el dispositivo.
- c. Los emplazamientos de prospección se deberán revisar en cada caso, especificándose las condiciones que el Gobierno responsable pueda estimar necesarias para garantizar la seguridad de la navegación en la zona.
- d. Los pormenores de estos ajustes temporales serán remitidos a la OMI y a los servicios hidrográficos competentes por lo menos cuatro meses antes de proceder al emplazamiento de la torre en un dispositivo de separación del tráfico aprobado, de manera que haya tiempo suficiente para informar a los navegantes. Cuando se prevea que tales ajustes temporales estarán en vigor durante seis meses o más, se comunicará este dato a las autoridades hidrográficas pertinentes con objeto de que éstas puedan tomar las medidas adecuadas para avisar a los navegantes.
- e. En caso de que un ajuste temporal a un dispositivo de separación del tráfico permanezca en vigor durante más de un año, el Gobierno responsable deberá considerar si en última instancia puede ser necesario modificar el dispositivo de manera permanente y, si procede, iniciar oportunamente procedimientos para que la OMI apruebe la modificación.

## II.7 UTILIZACION DE LOS SISTEMAS DE ORGANIZACION DEL TRAFICO

- a. Los sistemas de organización del tráfico están proyectados para ser utilizados, tanto de día como de noche con toda clase de tiempo, en aguas libres de hielos y en condiciones de poco hielo cuando no se requieran maniobras extraordinarias o la ayuda de buques rompehielos.
- b. Se recomienda la utilización de los sistemas de organización del tráfico a todos los buques, salvo indicación en contra. Teniendo presente la necesidad de que haya sonda suficiente bajo la quilla, en toda decisión encaminada a utilizar un sistema de organización del tráfico se deberá tener en cuenta la profundidad registrada en las cartas, la posibilidad de que haya habido cambios en el fondo del mar desde que se efectuó el último reconocimiento y los efectos de las condiciones meteorológicas y las mareas en las sondas indicadas.
- c. Todo buque que navegue dentro o cerca de un dispositivo de separación del tráfico aprobado por la OMI cumplirá especialmente con la regla 10 del Reglamento de Abordaje, 1972, a fin de reducir al mínimo el riesgo de abordaje. Las demás reglas del Reglamento de Abordajes, 1972, son aplicables en todos los sentidos, en especial las de las secciones II y III de la parte B si se considera que existe riesgo de abordaje.
- d. En los puntos de unión en que confluye el tráfico procedente de diversas direcciones no es realmente posible establecer una auténtica separación del tráfico, puesto que los buques podrán necesitar cruzar derrotas o cambiar de una de éstas a otra. Por consiguiente, los buques deberán navegar en tales zonas con gran precaución, y tener presente que el mero hecho de que un buque esté siguiendo una derrota de tránsito directo no le da ningún privilegio ni derecho especial de paso.
- e. Las derrotas en aguas profundas están destinadas principalmente a ser utilizadas por los buques que, debido a su calado en relación con la profundidad del agua existente en la zona, necesiten utilizar dichas derrotas. El tráfico directo al que no sea aplicable la consideración anterior, evitará utilizar en la medida de lo posible las derrotas en aguas profundas.
- f. Las zonas de precaución serán evitadas, si esto es posible, por los buques de paso que no utilicen los correspondientes dispositivos de separación del tráfico o derrotas en aguas profundas, o que no entren en los puertos adyacentes ni salgan de ellos.
- g. En las derrotas de dos direcciones, incluidas las de dos direcciones en aguas profundas, los buques se mantendrán en la medida de lo posible a estribor.
- h. Las flechas impresas en las cartas en relación con los sistemas de organización del tráfico indican únicamente la dirección general de la corriente del tráfico establecida o recomendada; los buques no necesitan ajustar sus derrotas estrictamente a ellas.
- i. La señal YG que significa *parece que usted no está cumpliendo con el dispositivo de separación del tráfico*, está incluida en el Código internacional de señales para utilizarla cuando proceda.

## II.8 REPRESENTACION EN LAS CARTAS

Las leyendas los signos y las notas que figuran en las tablas II.1, II.2, II.3 y II.4 las ha recomendado la Organización Hidrográfica Internacional como orientación para representar en las cartas náuticas los detalles de los sistemas de organización del tráfico y las medidas con ellos relacionadas. Se incluyen para ilustrar la información que probablemente se encontrará en dichas cartas y como ayuda para los que diseñan los sistemas de organización propuestos a fines de adopción por parte de la OMI.

TABLA II.1. USO DE LAS LEYENDAS EN LAS CARTAS Y EN LAS NOTAS	
Leyenda	Uso de la leyenda
<i>Traffic separation scheme</i> (Dispositivo de separación del tráfico)	Por lo general no aparece en las cartas. En las notas se utiliza la expresión inglesa <i>Traffic separation scheme</i> o su equivalente en la lengua nacional.
<i>Inshore traffic zone</i> (Zona de navegación costera)	La expresión inglesa <i>Inshore traffic zone</i> o su equivalente en la lengua nacional aparece en las cartas y se utiliza en las notas.
<i>Precautionary area</i> (Zona de precaución)	La expresión inglesa <i>Precautionary area</i> o su equivalente en la lengua nacional puede aparecer en las cartas en lugar del signo correspondiente y se utiliza en las notas.
<i>Deep water route</i> (Derrota en aguas profundas)	La abreviatura inglesa <i>DW</i> aparece en las cartas para señalar aguas profundas; en las notas se utiliza «DW» o la expresión <i>deep water route</i> (derrota en aguas profundas).
<i>Area to be avoided</i> (Zona a evitar)	La expresión inglesa <i>Area to be avoided</i> o su equivalente en la lengua nacional aparece en las cartas y se utiliza en las notas.
<i>Two-way route</i> (Derrota en dos direcciones)	La expresión inglesa <i>Two-way route</i> (derrota de dos direcciones) no aparece por lo general en las cartas pero se utiliza en las notas.
<i>Recommended route</i> (Derrota recomendada)	La expresión inglesa <i>Recommended route</i> (derrota recomendada) no aparece por lo general en las cartas pero se utiliza en las notas.
<i>Recommended track</i> (Eje de circulación recomendado)	La expresión inglesa <i>Recommended track</i> (eje de circulación recomendado) no aparece por lo general en las cartas pero se utiliza en las notas.

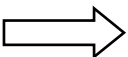
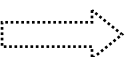
TABLA II. 2. SIGNOS RECOMENDADOS PARA REPRESENTAR LOS ELEMENTOS BASICOS DE LAS MEDIDAS DE ORGANIZACION DEL TRAFICO. SALVO INDICACION EN OTRO SENTIDO, LOS SIGNOS IMPRESOS EN LAS CARTAS IRAN EN COLOR, GENERALMENTE MAGENTA				
Organización del tráfico: expresiones	Signo	Descripción	Aplicación	Referencias a notas y tablas
1. Dirección establecida del tráfico		Flecha silueteada	Dispositivos de separación del tráfico y derrotas en aguas profundas (si éstas son parte de una vía de circulación)	(1) (2)
2. Dirección recomendada para el tráfico		Flecha silueteada con trazos	Zona de precaución, derrotas de dos direcciones, derrotas recomendadas y derrotas en aguas profundas	(1)



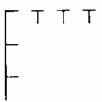
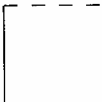
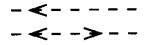
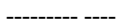

TABLA II.2. (Continuación)				
Organización del tráfico: expresiones	Signo	Descripción	Aplicación	Referencias a notas y tablas
3. Líneas de separación		En color, 3 mm anchura	Dispositivos de separación del tráfico y entre éstos y zonas de navegación costera	(3) (4) y Tabla II. 3
4. Zonas de separación		En color, forma variable	Dispositivos de separación del tráfico y entre éstos y zonas de navegación	(4) (5) y Tabla II. 3
5. Límites de zonas restringidas (expresión cartográfica)		Trazos en forma de T	Zonas a evitar y extremos definidos de zonas de navegación costera	(6) y Tabla II. 3
6. Límites de extensión marítima en general (expresión cartográfica)		Línea de trazos	Dispositivos de separación del tráfico, zonas de precaución, derrotas de dos direcciones y derrotas en aguas profundas	
7. Eje de circulación recomendado en una dirección, en las dos direcciones		Líneas de trazos con puntas de flecha (en negro)	Uso reservado en general para los servicios cartográficos	(7)
8. Derrotas recomendadas		Línea de trazos y flechas siluetadas con trazos	Derrotas recomendadas	
9. Zonas de precaución		Signo de precaución	Zonas de precaución	(8)
En las figuras II.1 a II.21 pueden verse diversos ejemplos de medidas de organización del tráfico marítimo en las que se emplean estos signos básicos.				
<p><b>NOTAS</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Flechas dispersas a lo ancho de la derrota. Podrán ser curvas. Donde las vías de circulación sean convergentes, las flechas deberán quedar orientadas aproximadamente en la dirección media de los límites laterales.</li> <li>2. Se omiten las flechas en las intersecciones (que no sean confluencias de giro) para evitar que pueda atribuirse prioridad a una de las vías.</li> <li>3. Las líneas de separación serán de 3 mm de anchura cuando así lo permita la escala de la carta.</li> <li>4. Usese un color claro que no oscurezca los detalles que queden debajo.</li> <li>5. Si las vías de circulación están separadas por obstáculos naturales, en las demarcaciones interiores de las mismas podrá sustituirse por el signo correspondiente a los límites de extensión marítima en general.</li> <li>6. El palo vertical de cada T apunta hacia la zona a evitar de que se trate.</li> <li>7. Este signo indica, en zonas insuficientemente hidrografiadas, los ejes de circulación que hay que seguir de cerca.</li> <li>8. La leyenda <i>Precautionary area</i> o su equivalente en la lengua nacional podrá utilizarse también, en lugar del signo, en el interior de la zona de precaución.</li> </ol>				

TABLA II.3. REPRESENTACION GRAFICA DETALLADA DE LOS SIGNOS INDICADORES DE DELIMITACIONES

Ejemplo: En el caso 8, *infra*, la delimitación entre una zona de precaución y una zona de navegación costera se representa mediante una línea de trazos en forma de T cuyos palos verticales apuntan hacia la zona de navegación costera.

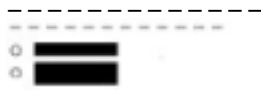


1. Entre <i>dispositivo de separación del tráfico (extremos)</i> y alta mar	Ninguna	
2. Entre <i>dispositivo de separación del tráfico (lados)</i> y alta mar		(zona)
3. Entre <i>dispositivo de separación</i> y zona de navegación costera		(zona)
4. <i>Dispositivo de separación del tráfico contiguo a otro dispositivo de separación del tráfico</i>	Ninguna	
5. Entre <i>zona de navegación costera (extremos)</i> y alta mar	⊥ ⊥ ⊥ ⊥ ⊥ ⊥ ⊥ ⊥ o ninguna representación si los límites no han sido definidos	
6. Entre zona de precaución y alta mar	-----	
7. Entre <i>zona de precaución</i> y dispositivo de separación del tráfico	-----	
8. Entre <i>zona de precaución</i> y zona de navegación costera	- T T T T T T T T	
9. Entre <i>derrota en aguas profundas (lados)</i> y alta mar		
10. Entre <i>derrota en aguas profundas (extremos)</i> y alta mar	-----	
11. Entre <i>derrota en aguas profundas (extremos)</i> y dispositivo de separación del tráfico	-----	
12. <i>Derrota en aguas profundas contigua a otra derrota en aguas profundas</i>	Ninguna	
13. Entre <i>derrota en aguas profundas (extremos)</i> y zonas de precaución		
14. Entre <i>derrota en aguas profundas</i> y zona/línea de separación	 (La zona/línea de separación sirve para indicar la delimitación)	
15. Entre <i>derrota de dos direcciones</i> y todas las demás zonas	-----	
16. Entre <i>zona a evitar</i> y todas la demás zonas	⊥ ⊥ ⊥ ⊥ ⊥ ⊥ ⊥ ⊥	

TABLA II.4. ADVERTENCIAS Y NOTAS EXPLICATIVAS EN LAS CARTAS

*Dispositivos de separación del tráfico y otras medidas de organización del tráfico*

La existencia de disposiciones especiales aplicables a determinadas medidas debe mencionarse en las cartas afectadas, remitiendo a los navegantes, en los casos necesarios, al texto íntegro del Derrotero pertinente.

*Derrotas en aguas profundas*

Siempre que pueda garantizarse una profundidad mínima, ésta (por ejemplo, 22 m) podrá indicarse tras la abreviatura «DW». En los demás casos las sondas de la carta indicarán la profundidad mínima, preferiblemente con una nota en la que se dé la fecha del último levantamiento.

*Zonas a evitar*

Las notas relativas a las condiciones que rijan la evitación de zonas (clases y dimensiones de los buques, naturaleza de los cargamentos, etc.) figurarán preferiblemente en la propia carta, pero se incluirán siempre en los Derroteros.