



Ministerio de Obras Públicas  
Dirección de Obras Portuarias

Guía de Diseño, Construcción, Operación  
y Conservación de Obras Marítimas y Costeras

---

## GUÍA DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y CONSERVACIÓN DE OBRAS MARÍTIMAS Y COSTERAS

Desarrollado por:



Empresa Consultora



## ÍNDICE CAPÍTULO 1 VOLUMEN 4

<b>1</b>	<b><u>CRITERIOS DE OPERACIÓN DE OBRAS Y NAVES</u></b>	<b>1</b>
1.1	<b>SIMBOLOGÍA</b>	1
1.2	<b>CRITERIOS DE OPERACIÓN DE OBRAS</b>	9
1.2.1	REQUERIMIENTOS EN PLANTA	9
1.2.1.1	Alcance del Capítulo	9
1.2.1.2	Disposiciones generales sobre organización del tráfico marítimo	10
1.2.1.3	Determinación de la Configuración y Dimensiones en Planta de Áreas de Navegación y Flotación	11
1.2.1.4	Vías de Navegación	13
1.2.1.5	Entradas/Salidas de Puertos	28
1.2.1.6	Balizamiento de la entrada/salida del puerto	32
1.2.1.7	Áreas de Maniobra	33
1.2.1.8	Fondeaderos	58
1.2.1.9	Amarraderos y campos de boyas	64
1.2.1.10	Condiciones Comunes Aplicables a Vías de Navegación, Áreas de Maniobras, Fondeaderos, Antepuertos, Amarraderos y Campos de Boyas	70
1.2.1.11	Dársenas y Muelles	71
1.2.1.12	Condiciones Límites de Operación	78
1.2.1.13	Consideraciones Generales de Alzado de acuerdo a PIANC	79
1.2.1.14	Área de Maniobrabilidad	89
1.2.2	CONDICIONES NATURALES	95
1.2.2.1	Acciones Externas Sobre el Buque	96
1.2.2.2	Conceptos Generales	96
1.2.2.3	Acción y Efectos de la Corriente	103
1.2.2.4	Acción y Efectos del Oleaje	107
1.2.2.5	Efectos de los Temporales	110
1.2.2.6	Efecto de las Bajas Profundidades	111
1.2.2.7	Efecto de Succión y Rechazo de las Orillas	112
1.2.2.8	Efecto de Cruce de Buques	113
1.2.2.9	Evaluación de las Acciones Externas Sobre el Buque	115
1.2.2.10	Fuerzas Externas de Acuerdo a PIANC	118
1.2.3	CONDICIONES DE ABRIGO	131
1.2.3.1	Aguas Abiertas	131
1.2.3.2	Aguas Semi Abridadas	131
1.2.3.3	Aguas Abridadas	131

<b>1.3</b>	<b>RAMPAS</b> .....	<b>133</b>
1.3.1	INTRODUCCIÓN.....	133
1.3.2	TIPOS DE TRANSBORDADORES .....	135
1.3.2.1	Maquinaria .....	139
1.3.2.2	Defensas.....	140
1.3.3	ÁREAS DE MANIOBRA Y PARÁMETROS OPERACIONALES.....	140
1.3.4	PROFUNDIDAD Y UKC PARA RAMPAS.....	141
1.3.4.1	Escora a la Carga y Descarga del Buque .....	141
1.3.4.2	Resguardo Bajo la Quilla en Aguas Poco Profundas (UKC).....	142
1.3.5	DISPOSITIVOS DE AMARRA.....	142
1.3.6	ILUMINACIÓN DE RAMPAS .....	143
1.3.7	OPERACIÓN DE RAMPAS.....	143
1.3.7.1	Condiciones Climáticas .....	145
1.3.7.2	Geometría de Rampa.....	146
1.3.7.3	Condiciones Mínimas de Seguridad.....	150
<b>1.4</b>	<b>CRITERIOS DE OPERACIÓN DE NAVES</b> .....	<b>152</b>
1.4.1	METODOLOGÍA .....	152
1.4.2	MOVIMIENTOS DE LOS BUQUES.....	154
1.4.3	SISTEMAS DE AMARRE .....	154
1.4.3.1	Pequeñas Embarcaciones y Botes de Recreo.....	155
1.4.3.2	Buques de Pesca .....	156
1.4.3.3	Buques de Cabotaje y Buques de Carga .....	158
1.4.3.4	Transbordadores y Buques Roll On Roll Off (Ro-Ro) .....	158
1.4.3.5	Buques de Carga General.....	159
1.4.3.6	Buques Portacontenedores .....	160
1.4.3.7	Graneleros .....	160
1.4.3.8	Petroleros .....	161
1.4.3.9	Gaseros .....	162
1.4.4	TIPOS DE BUQUE.....	163
1.4.4.1	Buque de Proyecto .....	163
1.4.4.2	Nave de Diseño .....	171
1.4.5	PRINCIPIOS DE AMARRAS .....	181
1.4.5.1	General .....	181
1.4.5.2	Fuerzas que Actúan Sobre el Buque .....	183
1.4.5.3	Modelo de Amarras .....	187
1.4.5.4	Elasticidad de las Amarras.....	190
1.4.5.5	Directrices Generales de Amarra .....	194
1.4.5.6	Consideraciones Operacionales.....	196
1.4.5.7	Gestión del Sistema de Amarra del Terminal.....	197

1.4.5.8	Límites Operacionales.....	199
1.4.5.9	Directrices de Operación y Límites de Amarra.....	199
1.4.5.10	Reunión Inspección Conjunta Terminal / Buque.....	204
1.4.5.11	Ganchos de Amarra con Instrumentos o Inspección Visual de las Líneas de Amarras.....	205
1.4.6	REQUERIMIENTOS DE ALZADO.....	205
1.4.6.1	Introducción.....	206
1.4.6.2	Determinación de Profundidad de Agua.....	207
1.4.6.3	Criterios Generales.....	208
1.4.6.4	Factores Relacionados con el Buque.....	211
1.4.6.5	Factores Relacionados con el Nivel de las Aguas.....	239
1.4.6.6	Factores Relacionados con el Fondo.....	250
1.4.6.7	Procedimientos Empíricos.....	252
1.4.6.8	Manuales de Operación.....	253
1.4.7	DISTANCIAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS SOBRE ÁREAS DE FLOTACIÓN.....	253
1.4.8	NIVELES DE CORONACIÓN DE MUELLES.....	258
1.4.8.1	Criterios de Explotación.....	258
1.4.8.2	Criterios de No Rebasabilidad de las Aguas Libres Exteriores.....	259
1.4.8.3	Criterios de No Rebasabilidad del Nivel Freático en el Trasdós del Muelle.....	259
1.4.8.4	Criterios de Drenaje.....	260
<b>1.5</b>	<b>REMOLCADORES.....</b>	<b>261</b>
1.5.1	FUNCIÓN DE LOS REMOLCADORES.....	261
1.5.2	TIPOS DE REMOLCADORES.....	261
1.5.3	DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE REMOLCADORES.....	263
1.5.3.1	Mantenimiento En Posición De Un Buque Sometido A Cargas Climáticas.....	263
<b>1.6</b>	<b>MANIOBRABILIDAD DE BUQUES.....</b>	<b>265</b>
1.6.1	MANIOBRABILIDAD DE BUQUE.....	266
1.6.2	EFFECTO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES.....	269
1.6.3	GENERALIDADES.....	270
1.6.4	CURVAS EVOLUTIVAS.....	271
1.6.4.1	Definición y Estudio Elemental del Movimiento del Buque.....	271
1.6.4.2	Angulo de Deriva y Punto Giratorio.....	272
1.6.4.3	Características de la Curva Evolutiva.....	272
1.6.4.4	Variación de Parámetros de Navegación Relacionados a la Curva Evolutiva.....	273
1.6.4.5	Determinación de las Curvas Evolutivas de un Buque.....	279
1.6.5	EXTINCIÓN NATURAL Y FORZADA DE LA ARRANCADA DEL BUQUE.....	279
1.6.5.1	Definición y Factores que Influyen.....	279
1.6.6	ESTUDIO DE MANIOBRAS.....	280



1.6.6.1	Primera Fase: Estudio del Problema de Maniobra Planteado .....	280
1.6.6.2	Segunda Fase: Selección de las Maniobras Factibles y Aceptables.....	280
1.6.6.3	Tercera Fase: Estudio de Situaciones de Emergencia .....	281
<b>1.7</b>	<b>SIMULADORES MARÍTIMOS .....</b>	<b>282</b>
<b>2</b>	<b><u>ANEXOS .....</u></b>	<b><u>285</u></b>
<b>2.1</b>	<b>ANEXO A: RESOLUCIÓN DIRECTEMAR SOBRE ESTUDIOS DE MANIOBRABILIDAD ..</b>	<b>286</b>
<b>2.2</b>	<b>ANEXO B: FORMATO DE INFORME DE OPERACIÓN .....</b>	<b>308</b>
<b>2.3</b>	<b>ANEXO C: DIAGRAMA DE PROCESO DE APROBACIÓN DE ESTUDIOS DE MANIOBRA .</b>	<b>309</b>
<b>2.4</b>	<b>ANEXO D: ANTECEDENTES AMBIENTALES DE ZONA DE EMPLAZAMIENTO DEL PROYECTO O INSTALACIÓN PORTUARIA .....</b>	<b>310</b>
2.4.1	ANTECEDENTES AMBIENTALES DE ZONA DE EMPLAZAMIENTO DEL PROYECTO O INSTALACIÓN PORTUARIA .....	310

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.2.1-1:	Sistema de balizamiento Marítimo (AISM) 1-2 .....	23
Figura 1.2.1-2:	Sistema de balizamiento marítimo (AISM) 2-2 .....	24
Figura 1.2.1-3:	Balizamiento de tramos curvos. Soluciones con márgenes rectas .....	25
Figura 1.2.1-4:	Configuración geométricas tramos curvos, Soluciones con márgenes curvas ...	26
Figura 1.2.1-5:	Balizamiento de tramos rectos con condiciones climáticas variables. Dos vías de navegación.....	27
Figura 1.2.1-6:	Balizamiento de tramos para adelantamiento de buques.....	27
Figura 1.2.1-7:	Balizamiento de tramo para cruzamiento de buques .....	28
Figura 1.2.1-8:	Parada en tramo recto .....	37
Figura 1.2.1-9:	Tramo final de la distancia de parada terminando en área de giro dimensionada sin remolcadores.....	38
Figura 1.2.1-10:	Tramo final de la distancia de parada terminando en área de giro dimensionada con remolcadores. ....	39
Figura 1.2.1-11:	Parada en círculo .....	40
Figura 1.2.1-12:	Parada en trayectoria mixta .....	43
Figura 1.2.1-13:	Parada fuera de áreas adecuadas para las maniobras de giro y atraque .....	47
Figura 1.2.1-14:	Área de giro sin ayuda de remolcadores ni fondeo de anclas.....	49
Figura 1.2.1-15:	Área de giro sin ayuda de remolcadores y con fondeo de anclas.....	51
Figura 1.2.1-16:	Área de giro con ayuda de remolcadores.....	54
Figura 1.2.1-17:	Radio de borneo de un buque amarrado a una boya por proa .....	67

Figura 1.2.1-18:	Superficie para el amarre con dos boyas, una en proa y otra en popa.....	68
Figura 1.2.1-19:	Superficie para el amarre en campo de boyas .....	70
Figura 1.2.1-20:	Perfil del canal.....	82
Figura 1.2.1-21:	Definición del resguardo bajo la quilla .....	83
Figura 1.2.1-22:	Dimensiones de las áreas de maniobrabilidad .....	90
Figura 1.2.2-1:	Acción del viento sobre un buque .....	98
Figura 1.2.2-2:	Posición de equilibrio al viento con buques parados, en función del asiento ...	100
Figura 1.2.2-3:	Posición de equilibrio al viento con buques parados, en función de la súper estructura .....	102
Figura 1.2.2-4:	Acción de la corriente sobre un buque .....	104
Figura 1.2.2-5:	Acción del oleaje sobre un buque .....	109
Figura 1.2.2-6:	Efectos del oleaje de través sobre los buques .....	109
Figura 1.2.2-7:	Cruces de buques .....	114
Figura 1.2.2-8:	Efectos del paso de un buque sobre otro amarrado.....	115
Figura 1.2.2-9:	Ejemplos de la turbulencia por viento .....	121
Figura 1.2.2-10:	Cálculo de la fuerza del viento (método Isherwood).....	122
Figura 1.2.2-11:	Oscilaciones de una barcaza amarrada de forma simétrica en una zona de fuerte corriente (Gómez Pina, 1978) .....	124
Figura 1.2.2-12:	Coefficiente fuerza corriente longitudinal y coeficiente fuerza corriente lateral en la perpendicular a proa y popa (Profundidad del agua / Calado = 1,20) (OCIMF, 1977) .....	125
Figura 1.2.2-13:	Fuerza de levantamiento y separación (Khanna, Sorensen. 1980) .....	126
Figura 1.2.2-14:	Mediciones de Seichesen el interior del puerto de Argel en terreno y en un modelo a escala (Jensen y Warren, 1986) .....	126
Figura 1.2.2-15:	Ampliación de onda larga en el interior del Puerto Argel (Jensen y Warren)....	128
Figura 1.2.2-16:	Fuerzas inducidas en un buque amarrado por un barco que pasa .....	130
Figura 1.3.1-1:	Rampa de una pendiente (Caleta Gonzalo) .....	134
Figura 1.3.1-2:	Rampa de doble pendiente (Chacao) .....	134
Figura 1.3.1-3:	Rampa de varios niveles (Pargua).....	135
Figura 1.3.2-1:	Foto Transbordador operando en rampa Puelche.....	139
Figura 1.3.3-1:	Área de giro.....	141
Figura 1.3.7-1:	Distribución típica de componentes de rampa y alerones en una instalación de embarque para transbordadores .....	146
Figura 1.3.7-2:	Resguardos a los obstáculos para vehículos bajo – Gradiente excesiva cambia en puntos de transición.....	147
Figura 1.3.7-3:	Obstáculos superiores en rampas de doble nivel – Espacio libre a los elementos de izado.....	149

Figura 1.3.7-4:	Obstáculos superiores en rampas de doble nivel – Espacio libre a rampa del nivel superior.....	150
Figura 1.4.5-1:	Modelo de Amarre típica .....	182
Figura 1.4.5-2:	La fuerza del viento en un barco.....	185
Figura 1.4.5-3:	Efecto del espacio bajo la quilla en la fuerza de corriente .....	186
Figura 1.4.5-4:	Análisis de modelos de amarras.....	189
Figura 1.4.5-5:	Efectos de la orientación de las amarras en la capacidad de retención .....	190
Figura 1.4.5-6:	Efecto de la elasticidad de amarre en la capacidad de retención. ....	193
Figura 1.4.5-7:	Efectos de la longitud de las líneas en los requerimientos de tendido.....	197
Figura 1.4.5-8:	Límites de viento operacionales para petroleros de 250.000 DWT con todos los cabos de amarra de Nylon.....	200
Figura 1.4.5-9:	Límites de viento operacionales para petroleros de 250.000 DWT, con todas las líneas de amarra de alambre .....	201
Figura 1.4.5-10:	Límites de viento operacionales para petroleros de 250.000 DWT, con amarras mixtas.....	202
Figura 1.4.6-1:	Factores que intervienen en la determinación de las profundidades de agua en las áreas de navegación y flotación.....	210
Figura 1.4.6-2:	Secciones transversales tipo de vías navegables para el cálculo de trimado dinámico.....	216
Figura 1.4.6-3:	Factor de correlación para el cálculo del trimado dinámico .....	218
Figura 1.4.6-4:	Movimientos del buque .....	221
Figura 1.4.6-5:	Esquema de fuerzas generadoras de escoras por acción del viento.....	229
Figura 1.4.6-6:	Esquema de fuerzas generadoras de escoras por acción de la corriente. ....	230
Figura 1.4.6-7:	Esquema de fuerzas generadoras de escoras por cambio de rumbo.....	234
Figura 1.4.6-8:	Principales planos de la marea.....	241
Figura 1.4.6-9:	Mareas de sicigias y cuadraturas .....	243
Figura 1.6.4-1:	Efecto del viento de proa sobre la curva evolutiva .....	277
Figura 1.6.4-2:	Efecto de la corriente sobre la curva evolutiva .....	278
Figura 2.3-1:	Diagrama proceso de aprobación de estudios de maniobrabilidad.....	309

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.2.1-1:	Longitud del tramo de transición.....	19
Tabla 1.2.1-2:	Diámetros del Círculo.....	41
Tabla 1.2.1-3:	Radio mínimo de la trayectoria del buque .....	48
Tabla 1.2.1-4:	Ángulos de inclinación .....	61

Tabla 1.2.1-5:	Condiciones límite de operación.....	69
Tabla 1.2.1-6:	Condiciones límites de operación de buques en muelles .....	76
Tabla 1.2.3-1:	Valores de referencia de altura de olas umbrales para el trabajo de manipulación de carga no afectada por marejadas u olas de largo periodo .....	132
Tabla 1.3.2-1:	Dimensiones Generales.....	136
Tabla 1.3.2-2:	Maquina .....	137
Tabla 1.3.2-3:	Capacidades y equipamiento.....	137
Tabla 1.3.2-4:	Ayudas a la navegación.....	138
Tabla 1.4.3-1:	Criterios de oleaje recomendados para embarcaciones pequeñas y embarcaciones de recreo .....	155
Tabla 1.4.3-2:	Criterios recomendables para los movimientos del buque en condiciones de trabajo seguro .....	156
Tabla 1.4.3-3:	Criterios de velocidades recomendados para condiciones de amarra seguras	158
Tabla 1.4.4-1:	Dimensiones medias de buques a plena carga.....	167
Tabla 1.4.4-2:	Relación entre TPM (DWT) y GT.....	173
Tabla 1.4.4-5:	Desplazamientos de los buques con límites de confianza del 50%, 75%, 95%	178
Tabla 1.4.4-6:	Características de buques portacontenedores que han arribado a puertos Chilenos en los últimos años .....	181
Tabla 1.4.6-1:	Valores máximos de la velocidad absoluta de los buques .....	217
Tabla 1.4.6-2:	Movimientos verticales del buque debido a la acción del oleaje .....	222
Tabla 1.4.6-3:	Resguardo para seguridad y control de la maniobrabilidad del buque ( $rv_{sm}$ ) y margen de seguridad ( $rv_{sd}$ ) .....	238
Tabla 1.4.6-4:	Constituyentes armónicas de la marea.....	244
Tabla 1.4.6-5:	Márgenes para imprecisiones de batimetría.....	250
Tabla 1.4.6-6:	Márgenes de seguridad $H_1$ .....	252
Tabla 1.4.7-2:	Nivel Máximo de las aguas exteriores para estudios de distancias máximas y mínimas y drenajes.....	256

# 1 CRITERIOS DE OPERACIÓN DE OBRAS Y NAVES

## 1.1 SIMBOLOGÍA

$\alpha_{CP}$	: Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación de la corriente absoluta (de donde viene).
$\alpha_{cr}$	: Ángulo entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación de la corriente relativa (de donde viene).
$\alpha_{vr}$	: Ángulo entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa y la dirección de actuación del viento relativo (de donde viene).
$\alpha_w$	: Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de incidencia de las olas (de donde viene).
$\alpha_{wb}$	: Ángulo formado entre la velocidad absoluta del buque y la dirección del oleaje (de donde viene).
$\beta$	: Ángulo de deriva del buque.
$\gamma_w$	: Peso específico del agua.
$\rho$	: Peso específico del aire.
$\phi_{CF}$	: Ángulo formado sobre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante de fricción de corriente.
$\phi_{CP}$	: Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa y la dirección de la resultante de presiones de corriente.
$\phi_v$	: Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación del viento absoluto (de donde viene).
$\mu$	: 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 $H_i$ .
$\theta_{TV}$	: Ángulo de balance del buque ocasionado por la acción del viento transversal.
$\theta_{CR}$	: Ángulo de balance del buque ocasionado por la fuerza centrífuga.
$\nabla$	: Volumen del desplazamiento del buque.
$\Delta$	: Peso de un buque, Desplazamiento.
$A$	: Área del buque sometida al viento.
$a$	: Espacio Aéreo.
$A_b$	: Sección transversal principal de la obra viva del buque.
$A_{BMVE}$	: Semi amplitud de onda correspondiente a la $BMVE$ .
$A_c$	: Sección transversal del canal.
AISM	: Asociación Internacional de Señalización Marítima.
$A_{LC}$	: Área longitudinal sumergida del buque sometida a la acción de la corriente.

---

$A_{LCF}$	:	Área de la superficie del buque mojada longitudinalmente a la dirección de crujía.
$A_{LV}$	:	Área de la proyección longitudinal del buque expuesta a la acción del viento.
$a_{max}$	:	Valores máximos de $a$ (espacio aéreo).
$AMC$	:	Semiampplitud de cada onda de marea.
$A_{PMVE}$	:	Semiampplitud de onda correspondiente a la $PMVE$ .
$ASD$	:	Azimuth Stern Drive, Remolcador tipo tractor.
$A_{TC}$	:	Área transversal sumergida del buque sometida a la acción de la corriente.
$A_{TCF}$	:	Área de la superficie del buque mojada transversalmente a la dirección de crujía.
$A_{TV}$	:	Área de la proyección transversal del buque expuesta a la acción del viento.
$B$	:	Manga del buque.
$BD$	—	Buque de Diseño.
$B_G$	:	Medio ancho del rectángulo central donde queda situado el centro de gravedad del buque cuando accede al área de maniobras.
$B_{max}$	:	Manga máxima del mayor Buque de Proyecto que pueda operar en cualquiera de los muelles de la dársena.
$PM_C$	:	Cota correspondiente a la bajamar.
$BMVE$	:	Bajamar Máxima Viva Equinoccial.
$B_n$	:	Ancho 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.
$B_{nd}$	:	Ancho nominal de la dársena, medida entre planos de caras exteriores de defensas de los muelles longitudinales.
$B_{ndp}$	:	Incremento del ancho nominal de la dársena.
$B_r$	:	Ancho adicional de reserva para tomar en consideración los factores relacionados con los contornos.
$BRSA$	:	British Ship Research Association $B_t$ : Ancho total de la vía de navegación.
$C$	:	Coeficiente de marea.
$C_b$	:	Coeficiente de bloque al calado $D$ .
$C_{CL}$	:	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).
$C_{CT}$	:	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).
$C_d$	:	Coeficiente de arrastre.
$C_{dw}$	:	Coeficiente de profundidad.
$C_{fw}$	:	Coeficiente de flotación.
$C_m$	:	Coeficiente de masa hidrodinámica que es el cociente entre la masa total del sistema en movimiento y la masa del buque.
$C_r$	:	Coeficiente de rozamiento.
$CV$	:	Caballo de vapor.

---

---

$C_{VF}$	:	Facto de forma.
$C_{VL}$	:	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 del buque.
$d_1$	:	Valor máximo del trimado dinámico.
$d_{bg}$	:	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.
$d_{cg}$	:	Distancia vertical entre la línea de acción de $F_{TC}$ y el centro de gravedad del buque.
$d_{dg}$	:	Distancia vertical entre el centro de deriva y el centro de gravedad.
$D_e$	:	Calado estático de buque.
DGTM y MM	:	Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante.
DIRECTEMAR	:	Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante.
$D_p$	:	Distancia de parada.
$d_r$	:	Sobre calado para buques de casco plano.
$d_t$	:	Incremento adicional de calado de un buque.
$d_v$	:	sobre calados producto de movimientos de escora.
$d_{vd}$	:	Distancia vertical entre la línea de acción de $F_{TV}$ para el caso de buques en navegación, y el centro de deriva.
$d_w$	:	Incremento en los requerimientos de calado del barco.
DWT	:	Deadweight Tonnes (Toneladas de peso muerto).
$E$	:	Ancho entre bandas calculada estadísticamente en función del riesgo prefijado.
$e_{cp}$	:	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.
$E_{max}$	:	Riesgo máximo admisible.
$e_v$	:	Excentricidad de la Fuerza Resultante del viento con respecto al CG del buque medida a lo largo del plano de crujía.
$F_c$	:	Fuerza centrífuga.
$F_{LC}$	:	Componente en el sentido longitudinal del buque de la acción de una corriente uniforme, suma de las acciones producidas por la presión y por la fricción respectivamente ( $F_{LCP} + F_{LCF}$ ).
$F_{LCF}$	:	Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante, debida a la fricción.
$F_{LCP}$	:	Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante.
$FLRi$	:	Componente en el sentido longitudinal del buque de $F_{Ri}$ .
$F_{LV}$	:	Componente del sistema de fuerzas en el sentido longitudinal que tiende a hacer avanzar o retroceder al buque, según cuál sea el ángulo de incidencia del viento.
$F_{LW}$	:	Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante.

---

---

$F_{nh}$	:	Número de Froude.
$F_{Ri}$	:	Fuerza horizontal resultante.
$F_{TC}$	:	Componente en el sentido transversal del buque de la acción de una corriente uniforme.
$F_{TCF}$	:	Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante debida a la fricción, $t$ .
$F_{TCP}$	:	Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante $t$ .
$F_{TV}$	:	Componente del sistema de fuerzas en el sentido transversal que tiende a desplazar el buque con un movimiento de deriva.
$F_{TV}$	:	Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante de la acción del viento sobre él.
$F_{TW}$	:	Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante.
$G$	:	Francobordo del buque.
$g$	:	Aceleración de la gravedad.
GLP	:	Gas Licuado del Petróleo.
GNL	:	Gas Natural Licuado.
GPS	:	Global Positioning System (Sistema de posicionamiento global).
GT	:	Gross Tonnage. Arqueo bruto de un buque.
$h$	:	Profundidad de agua en reposo.
$H_1$	:	Factores relacionados con el buque.
$H_2$	:	Factores relacionados con el nivel del agua.
$H_3$	:	Factores relacionados con el fondo.
$h_e$	:	Altura del escobén sobre la superficie del agua.
$h_{ef}$	:	Altura del escobén sobre el fondo del fondeadero.
$h_L$	:	Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano longitudinal.
HP	:	Horsepower (caballo de fuerza o de vapor).
$H_s$	:	Altura significativa de la ola.
$h_T$	:	Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano transversal.
$h_z$	:	Profundidad de la zanja dragada referida al nivel medio del fondo.
$I$	:	Momento de inercia de la superficie de isocarena referido a su eje longitudinal.
$l_a$	:	Longitud de amarres en carga (proyección horizontal).
$l_{a1}, l_{a2}$	:	Longitud de amarres en carga (proyección horizontal).
IALA	:	International Association of Lighthouse Authorities (Sistema de Balizamiento Marítimo Internacional).
$l_c$	:	Longitud de la cadena en carga (proyección horizontal).
$l_c$	:	Longitud de cadena a filar.



ICORELS	:	International Commission for the Reception of Large Ships.
$I_d$	:	Desplazamiento de la boya en carga.
$I_{d^*}$	:	Borneo de las boyas de amarre sometidas a las cargas máximas de diseño.
$I_{d1}, I_{d2}$	:	Desplazamiento de la boya en carga.
$I_g$	:	Garreo del ancla.
$I_i$	:	Imprecisiones del fondeo.
$I_o$	:	Distancia entre barcos atracados en la misma alineación.
$I_s$	:	Separación entre barco y cambios de alineación o de tipología estructural.
ISGOTT	:	International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (Guía Internacional de Seguridad para Buques Petroleros y Terminales).
K	:	Distancia del punto giratorio a la proa o popa del buque (la más desfavorable) expresado en fracción de $L$ .
$K_f$	:	Factor de corrección.
$K_{ec}$	:	Coeficiente de excentricidad, asociado al sistema de presiones de corriente.
$K_{ev}$	:	Coeficiente de excentricidad, asociado al sistema de presiones de viento.
KG	:	Altura del centro de gravedad de pesos sobre la quilla.
$K_{mf}$	:	Factor que cuantifica el área de maniobra de buques entre las dos alineaciones de boyas o de anclas fondeadas en una y otra banda.
$K_{mr}$	:	Factor que cuantifica el área de maniobra de buques entre las dos alineaciones de buques de una y otra banda.
kN	:	Kilonewton.
$K_{PF}$	:	Coeficiente, dependiente de las características del remolcador.
$K_s$	:	Coeficiente adimensional de corrección para canales sumergidos o convencionales.
$L$	:	Eslora
$I$	:	Espacio necesario para amarrar con boyas o con anclas.
$L_G$	:	Media longitud del rectángulo central donde queda situado el centro de gravedad del buque cuando accede al área de maniobras.
$Ln$	:	Logaritmo neperiano (o natural).
$L_{pp}$	:	Eslora entre perpendiculares.
$L_{proy}$	:	Longitud de la proyección del buque en la dirección del oleaje incidente.
$L_r$	:	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.
$L_w$	:	Longitud de ola absoluta a la profundidad del emplazamiento.
$L_{wr}$	:	Longitud de ola aparente o relativa al buque, en m, a la profundidad del emplazamiento.
M	:	Masa del buque que comprende la masa propia y la masa de agua movilizada con él.
MBM	:	Multi-Buoy Mooring (Terminal multi-boya).
MM	:	Marina Mercante.

$M_{TC}$	:	Momento resultante debido a la excentricidad de las fuerzas de presión en relación con el centro de gravedad del buque de la acción de una corriente uniforme.
$M_{TRi}$	:	Momento resultante de la actuación de un remolcador sobre un buque, aplicado sobre un eje vertical que pasa por su centro de gravedad del buque.
$M_{TV}$	:	Momento resultante de la acción del viento sobre el buque, aplicado sobre un eje vertical que pasa por su centro de gravedad.
NAVGUIDE	:	Guía de Ayudas a la Navegación.
$N_b$	:	Número máximo de barcos abarloados medidos en cualquier alineación transversal a la dársena, sin contar los que están atracados directamente al muelle.
NKK	:	Nippon Kaiji Kyokai (Nombre de la Sociedad Japonesa de clasificación de barcos).
NM	:	Nivel medio del mar.
$N_{max O}$	:	Nivel máximo de las aguas libres exteriores en condiciones de operación.
$N_{max RH}$	:	Nivel extremal esperable de los máximos anuales del régimen fluvial, asociado a un riesgo admisible.
$NME$	:	Nivel medio de estiaje en corrientes fluviales.
$NMF$	:	Nivel medio de la corriente fluvial.
$NMI$	:	Nivel medio de los máximos anuales en corriente fluviales.
$N_{min RH}$	:	Nivel extremal esperable de los mínimos anuales del régimen fluvial, asociado a un riesgo admisible.
$NMO$	:	Nivel medio de operación de las aguas libres exteriores.
OCIMF	:	Oil Companies International Marine Forum.
OMI	:	Organización Marítima Internacional.
PIANC	:	World Association for Waterborne Transport Infrastructure (Asociación Internacional de Navegación).
$p_{ij}$	:	Probabilidad de excedencia.
$PM_C$	:	Cota correspondiente a la pleamar.
$PMVE$	:	Pleamar Máxima Viva Equinoccial.
$P_T$	:	Fuerza perpendicular a su pala.
$P_u$	:	Masa específica del aire.
$R$	:	Radio mínimo de la trayectoria del buque en marcha adelante o marcha atrás.
$R_a$	:	Resistencia al avance.
$R_{ao}$	:	Resistencia del buque al avance en el momento de iniciarse la maniobra de parada.
$RC$	:	Fuerza horizontal resultante de la acción de una corriente uniforme actuando sobre un buque.
$R_c$	:	Radio de curvatura de la trayectoria del buque.
$R_{CF}$	:	Fuerza resultante horizontal de la acción de la fricción de la corriente sobre el buque.
$R_{CP}$	:	Fuerza resultante horizontal de la acción de las presiones de la corriente sobre el buque.
$rh_{sd}$	:	Margen de Seguridad horizontal en vías de navegación o áreas de maniobras.

Ro-Ro	:	Roll On Roll Off.
ROM	:	Recomendaciones de Obras Marítimas de España.
$R_{sr}$	:	Radio del círculo de maniobra, para operación sin remolcadores.
$R_v$	:	Fuerza resultante horizontal de la acción del viento uniforme.
$rv_{sd}$	:	Resguardo vertical libre que deberá quedar siempre disponible entre el casco del buque y el fondo.
$rv_{sm}$	:	Resguardo para seguridad y control de la maniobrabilidad del buque, espesor mínimo de la lámina de agua que debe quedar bajo la quilla para que el barco pueda mantener el control de la navegación.
s	:	Segundo.
SA	:	Sobre anchos debidos a efectos no contemplados en el simulador.
SHOA	:	Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.
SIGTTO	:	Society of International Gas Tanker and Terminal Operators (Sociedad Internacional de Tanques Gaseros y Operadores de Terminales).
SPM	:	Single Point Mooring (Terminales monobooya).
$S_t$	:	Superficie de la pala del timón.
STCW	:	Standards of Training, Certification and Watchkeeping (Normas de Formación, Titulación y Guardia para la Gente de Mar).
$t/m^3$	:	Tonelada por metro cúbico.
$T_c$	:	Carga de trabajo de la cadena con factor de seguridad 4.
TEU	:	Twenty Feet Equivalent Unit (Unidad Equivalente de contenedores de 20 pies).
$T_m$	:	Período de perfil senoidal.
$T_{PF}$	:	Tracción a punto fijo.
$T_p$	:	Empuje del propulsor.
TPM	:	Tonelaje de peso muerto (DWT).
TRB	:	Tonelaje de Registro Bruto.
TRG	:	Tonelaje de Registro Grueso.
$t_{ri}$	:	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.
$T_w$	:	Periodo absoluto del oleaje.
$T_{wr}$	:	Periodo del oleaje, aparente o relativo al buque o periodo de encuentro.
$u$	:	Velocidad del viento.
UA	:	Unidad de altura.
UKC	:	Under Keel Clearance (Resguardo bajo la quilla).
$V$	:	Velocidad absoluta del buque con respecto al fondo.
$V_f$	:	Velocidad relativa del buque con respecto al agua, excluidos efectos locales.
$V_{10.1 min}$	:	Velocidad absoluta del viento.

$V_{c.1 min}$	:	Velocidad absoluta de la corriente.
$V_{cr}$	:	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.
VHF	:	Very High Frequency (Frecuencia muy alta).
$V_L$	:	Componente de la Velocidad absoluta del buque, en el sentido longitudinal a la trayectoria.
VLCC	:	Very Large Crude Carriers (Barcos de transporte de crudo muy grandes).
$V_o$	:	Velocidad absoluta del buque en el momento de iniciarse la maniobra de parada.
$V_r$	:	Velocidad relativa al agua.
$V_{vr}$	:	Velocidad relativa del viento referida al buque.
VTS	:	Vessel Traffic Services (Servicios para el Tráfico de Buques).
$V_{xr}$	:	Velocidad relativa de la corriente referida al buque.
W	:	Peso de la cadena por unidad de longitud.
w	:	Dirección del oleaje incidente.
$W_R$	:	Potencia al freno del remolcador, CV.
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.

## 1.2 CRITERIOS DE OPERACIÓN DE OBRAS

### 1.2.1 REQUERIMIENTOS EN PLANTA

#### 1.2.1.1 ALCANCE DEL CAPÍTULO

El presente capítulo 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. La configuración y dimensiones en planta de las diferentes Áreas de Navegación y Flotación podrán ser variables, estableciéndose 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. 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 buques que utilicen dichas Áreas de Navegación y Flotación.

El procedimiento para determinar esta definición geométrica sigue los criterios generales establecidos en la ROM 3.1-99 Parte 2 apartado 2.5<sup>1</sup>, 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.

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 con una

---

<sup>1</sup> ROM 3.1-99 Proyecto de la Configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación. Parte 8. Requerimientos de Planta. Puertos del Estado. España. 2000.

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 aquéllas 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 áreas de navegación y flotación específicamente portuarias.

### **1.2.1.2 DISPOSICIONES GENERALES SOBRE ORGANIZACIÓN DEL TRÁFICO MARÍTIMO**

El contenido del apartado 1.2.1.2 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.

En Chile se tienen establecidos y aprobados los dispositivos de organización del tráfico marítimo en la entrada de sus puertos principales y otros lugares de confluencia de tráfico.

El detalle y descripción del esquema de separación del tráfico marítimo se encuentra en la información entregada a través de los “Derroteros de la Costa de Chile”, publicados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA).

En el prefacio de cada volumen del Derrotero de la Costa de Chile se establece lo siguiente: “Dispositivos de Organización del Tráfico Marítimo”.

Como medida de mayor seguridad en la navegación y prevención de abordajes, en determinadas zonas marítimas, están establecidos “Dispositivos de Separación del Tráfico”, los que previamente han sido aprobados por la OMI.

Estos dispositivos consisten en “vías de circulación” con sentido único y apartadas por una zona de separación entre ellas. Las flechas que figuran en las cartas sólo indican la dirección general del tráfico y los buques deben asegurarse de que sus rumbos concuerden con dicho sentido, manteniéndose lo más a estribor que les sea posible dentro de la zona de separación.

Estas vías de circulación son obligatorias, de tal manera que el navegante deberá tener un completo conocimiento de la Regla 10 del “Reglamento Internacional para Prevenir los Abordajes” (1972), la cual contiene todas las disposiciones que tienen relación con los “Dispositivos de Separación del Tráfico”.

### **1.2.1.3 DETERMINACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN Y DIMENSIONES EN PLANTA DE ÁREAS DE NAVEGACIÓN Y FLOTACIÓN**

La determinación de la configuración y dimensiones en planta necesarias en las diferentes áreas 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 buques.
- Las ayudas a la navegación disponibles y los factores que afectan a su exactitud y fiabilidad.
- Los márgenes de seguridad que se establezcan para prevenir un contacto del buque con los contornos de las áreas de navegación o flotación, o con otras embarcaciones u objetos fijos o flotantes que puedan existir en el entorno.

La consideración de los factores anteriores cuantificará la superficie y dimensiones mínimas requeridas en planta, o dimensiones nominales. Para obtener el desarrollo en extenso del presente acápite se sugiere consultar el documento ROM 3.1-99 en el capítulo 8.3.

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 área que se analice. El estudio de estos aspectos excede del alcance de este Capítulo de Operación de obras y buques, 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.

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 áreas 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 semi-empíricos, 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.

Las consideraciones para el dimensionamiento de áreas en planta descritas anteriormente, son usualmente utilizadas para determinar la distribución general en planta de las obras del proyecto (layout). Se recomienda tomar en consideración las condiciones naturales del sector de proyecto, teniendo presente la influencia que tienen sobre la maniobrabilidad del buque en las diferentes áreas de tránsito (aproximación, giros, atraque, desatraque) y el uso de apoyos externos para la realización de las maniobras.



#### 1.2.1.4 VÍAS DE NAVEGACIÓN

En general, el estudio de las vías de navegación se requiere aplicar en Chile para la determinación de los accesos a puertos, como son los puertos de Arica, Iquique, Antofagasta, San Antonio, Talcahuano, Puerto Montt; en sectores de canales, donde por la estrechez fuera recomendable y en puertos donde se formen dársenas virtuales por el dragado.

Se recomienda realizar estudios con los análisis de estos temas para las obras nuevas y las existentes que se encuentren modificando la operatividad para nuevas naves de diseño.

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 este Capítulo de operación de Obras y buques (determinísticos o semi-probabilístico) se partirá de una traza de la vía de navegación, determinándose a continuación el ancho requerida en todas sus secciones críticas, para establecer posteriormente las transiciones de ancho 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.

Como base para el presente acápite se toma la Recomendación de Obras Marítimas Españolas 3.1-99, el capítulo 8.4.

#### 1.2.1.4.1 RECOMENDACIONES GENERALES DE TRAZADOS

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 contra-curva).
- 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° 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 cargas peligrosas.
- El paso de secciones estrechas (puentes, entradas/salidas de dársenas, 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  $5 \cdot L$  del buque de mayores dimensiones que se prevé utilizará la vía navegable, utilizándose preferiblemente radios de  $10 \cdot L$  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.
- 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 ancho 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.
- En terminales proyectados en zonas semi abrigadas o sin abrigo, con espacio suficiente para la maniobra de giro, la aproximación será planificada teniendo en consideración la posibilidad de abortar la maniobra, evitando la aproximación perpendicular a las instalaciones o paralela a las instalaciones, pero con dirección a zonas de bajas profundidades, rocosas o con obstrucciones.

#### 1.2.1.4.2 ANCHO DE LAS VÍAS DE NAVEGACIÓN

El ancho de la vía de navegación, medida perpendicularmente al eje longitudinal de la vía, se determinará como suma de los términos siguientes:

$$B_t = B_n + B_r \quad (1-1)$$

Donde:

- B<sub>t</sub>** : Ancho total de la vía de navegación.
- B<sub>n</sub>** : Ancho 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.
- B<sub>r</sub>** : Ancho adicional de reserva para tomar en consideración los factores relacionados con los contornos. Este ancho podrá ser diferente a una y otra margen **B<sub>ri</sub>** o **B<sub>rd</sub>** según la naturaleza y características de las mismas.

El ancho 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 el ancho entre taludes o perfiles 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 los 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 del ancho 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  $B$ , 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 del ancho nominal  $B_n$  de la vía de navegación se calculará de acuerdo con los criterios definidos y según se utilice el método determinístico o el semi-probabilístico, descritos en la parte 8.4.3 de la ROM 3.1-99.

#### 1.2.1.4.3 PUNTO DE NO RETORNO

En la práctica, en todas las vías de navegación de aproximación a puerto (incluyendo ríos navegables y canales de acceso) 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 giro, fondeo, amarre provisional o los que se prevean en cada caso, cuyas dimensiones se determinarán conforme se indican en otros apartados de esta guía. Los espacios necesarios para fondeaderos y amarraderos se desarrollan al margen de la vía de navegación, manteniendo un espacio de reserva de 2,5  $B$  entre el borde de la vía navegable y la posición más avanzada que pueda alcanzar el buque fondeado o amarrado. El espacio necesario para el área de giro 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 giro 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”.

#### **1.2.1.4.4 BALIZAMIENTO DE LAS VÍAS DE NAVEGACIÓN**

##### **1.2.1.4.4.1 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 visibilidad.

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 transversal 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 1.2.1.4.2. 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 (aproximadamente 6 a 12 nudos).

**Tabla 1.2.1-1: Longitud del tramo de transición**

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

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

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.

#### 1.2.1.4.4.2 SISTEMA DE BALIZAMIENTO Y TIPOS DE AYUDAS A LA NAVEGACIÓN

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), practicaaje, 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 Asociación Internacional de Señalización Marítima (AISM).

Notas:

- a) El sistema de balizamiento marítimo nacional se utiliza en señales marítimas, fluviales y lacustres, y proporciona reglas aplicables a todas las señales fijas y flotantes, con excepción de las estructuras petroleras fijas costa afuera. Indica además:
  - Los límites laterales de canales navegables.
  - Los peligros naturales y otros obstáculos a la navegación.
  - Rutas preferidas para la navegación.
  - Otras áreas de importancia para el navegante.
  - La recalada a un puerto o canal.
  - Puntos de apoyo en el cambio de rumbo del buque.
  - Puntos de referencia para controlar la posición del buque dentro de la ruta de navegación.
  - Nuevos peligros.
- b) Región de boyado. En Chile se utiliza la región "B" del Sistema Internacional de Señalización Marítima: "Verde a Babor y Rojo a Estribor".
- c) Sentido convencional de balizamiento. El sentido convencional de balizamiento empleado en las costas de Chile es:
  - De Sur a Norte en los canales orientados a lo largo de la costa, excepto en el canal Magdalena que es de Norte a Sur.



- De Oeste a Este en los canales transversales, excepto en el canal Cockburn y en el Estrecho de Magallanes que es de Este a Oeste.
  - Entrando a puerto, cualquiera ubicación geográfica que éste tenga.
  - En el Canal Beagle, entre las longitudes 68º 36' 38.5" W y 66º 25' 00.0" W, la señalización marítima existente en ambas riberas – es decir, el color de las luces o de sus estructuras – no indica sentido de balizamiento alguno, ni ha sido utilizado en dicho tramo el Sistema de Balizamiento Marítimo Internacional IALA. No obstante, se hace presente que en las señales especiales de: Peligro Aislado, Aguas Seguras y Cardinales, sus características de color y destello sí corresponden al IALA.
- d) Tipo de señales. El sistema de balizamiento marítimo comprende 6 tipos de señales que pueden emplearse en forma combinada.
- Señales Laterales.
  - Señales Cardinales.
  - Señales de Peligro Aislado.
  - Señales de Aguas Seguras.
  - Señales Especiales.
  - Señales Costeras.
- La descripción y uso de cada una de ellas se encuentra en el prefacio de los Derroteros de la Costa de Chile, publicados por el SHOA.
- e) Método empleado para caracterizar las señales. El significado de una señal depende de una o varias de las siguientes características:
- De noche: color y ritmo de la luz.
  - De día: color, forma y marca de tope de la estructura.

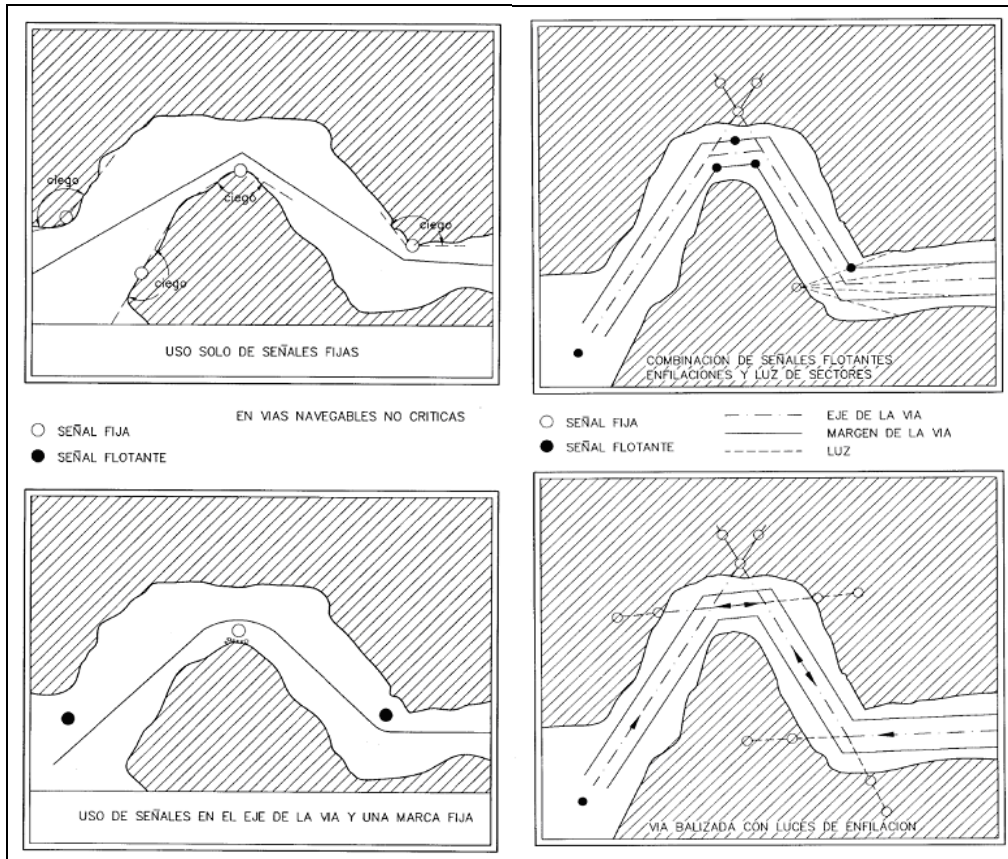
Las boyas no deben considerarse como señales infalibles y tampoco deben emplearse para obtener situación por demarcación a ellas, se exceptúan las boyas pilar las cuales no tienen radio de borneo.

Es importante que, cuando se utilizan señales visuales para marcar la vía navegable, al navegar avante 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.

De la Figura 1.2.1-1 a la Figura 1.2.1-2 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.

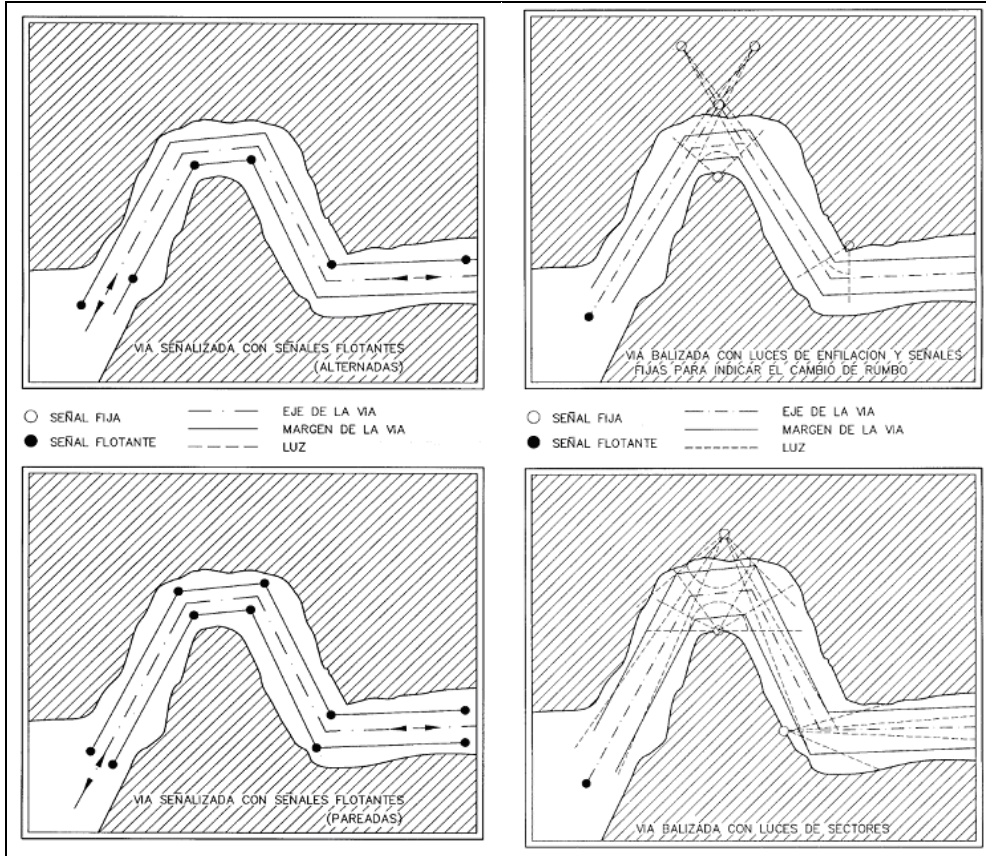
En el supuesto de que se utilicen boyas o balizas fijas para señalar las márgenes de la vía navegable se recomienda la utilización de parejas de boyas o balizas, dispuestas transversalmente al eje de la vía. En las Figura 1.2.1-3 a Figura 1.2.1-7 se recogen los esquemas mínimos que deberán ser utilizados para el balizamiento de tramos curvos y algunos otros tramos especiales.

**Figura 1.2.1-1: Sistema de balizamiento Marítimo (AISM) 1-2**



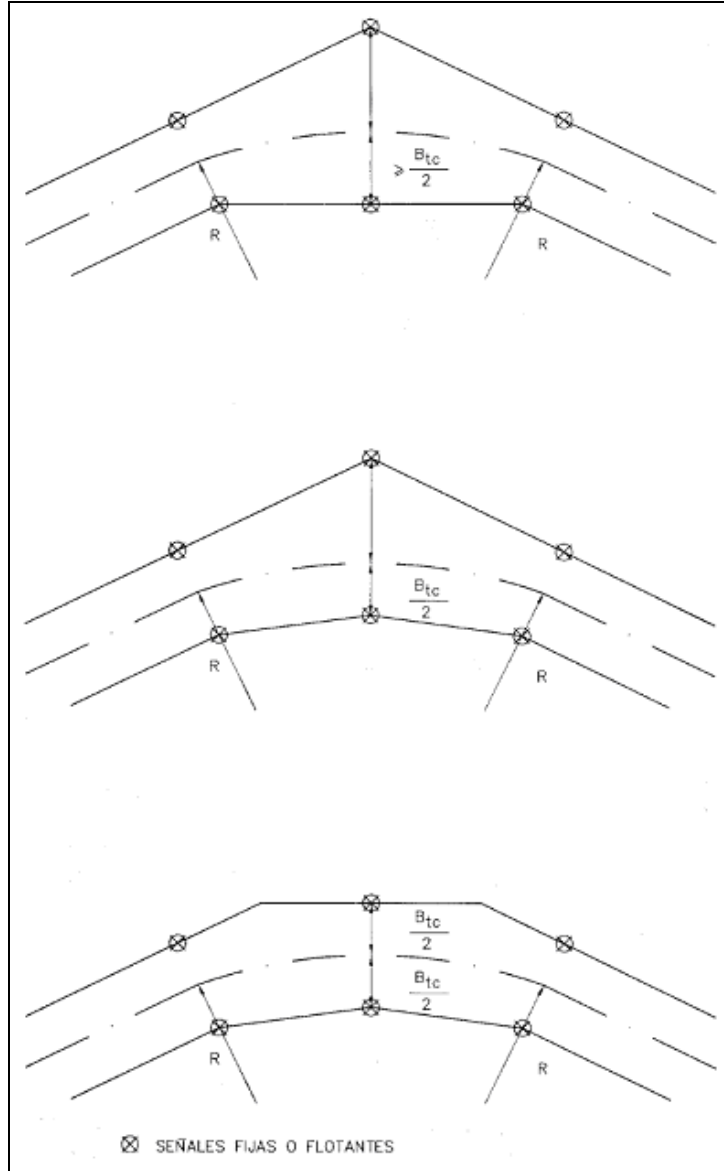
Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

**Figura 1.2.1-2: Sistema de balizamiento marítimo (AISM) 2-2**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

Figura 1.2.1-3: Balizamiento de tramos curvos. Soluciones con márgenes rectas



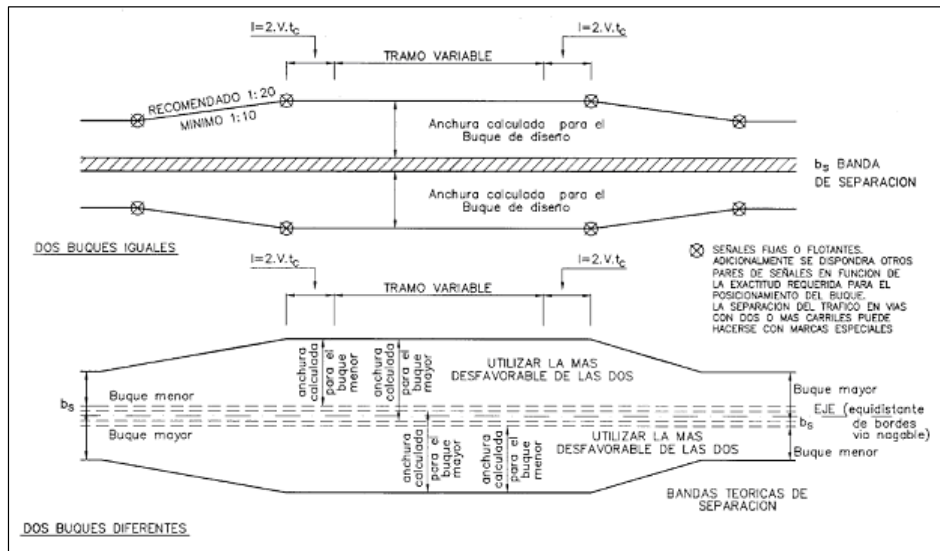
Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

**Figura 1.2.1-4: Configuración geométrica tramos curvos, Soluciones con márgenes curvas**



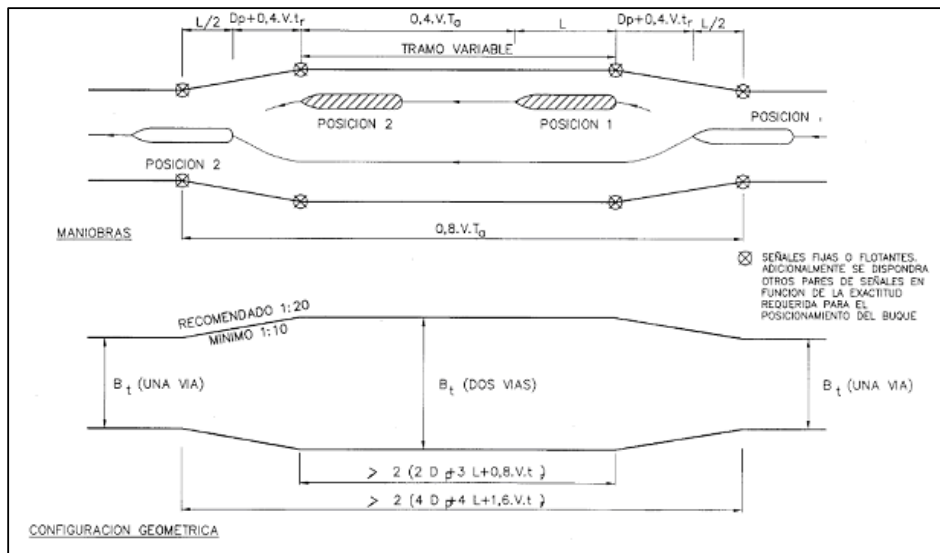
Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

**Figura 1.2.1-5: Balizamiento de tramos rectos con condiciones climáticas variables. Dos vías de navegación**



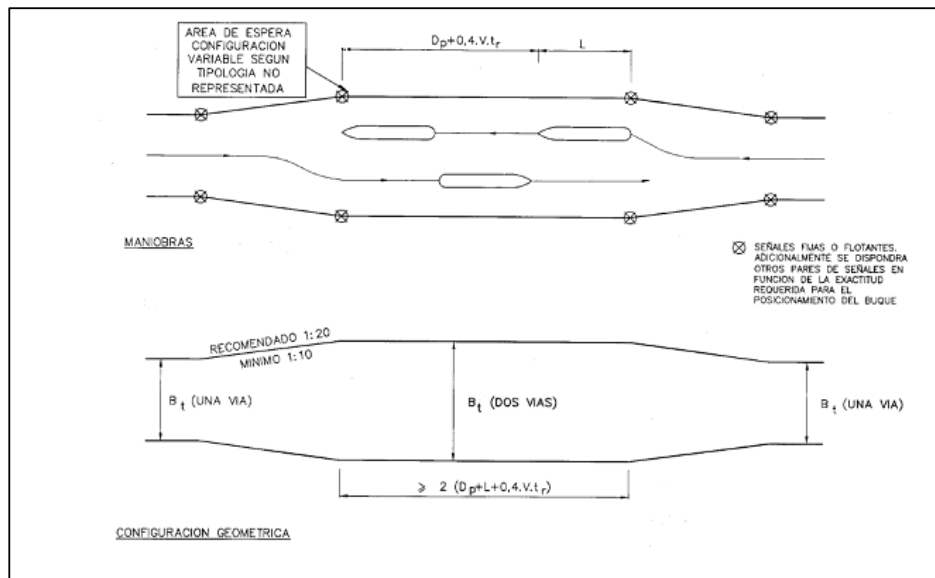
Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8.

**Figura 1.2.1-6: Balizamiento de tramos para adelantamiento de buques**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

**Figura 1.2.1-7: Balizamiento de tramo para cruzamiento de buques**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

### 1.2.1.5 ENTRADAS/SALIDAS DE PUERTOS

Para el desarrollo del presente capítulo se utilizó el capítulo 8.5 de la ROM 3.1-99, por tanto, si es necesario buscar criterios más específicos de esta temática se sugiere acudir al mencionado documento.

#### 1.2.1.5.1 FACTORES QUE AFECTAN A SU PROYECTO

Las bocas de entrada y salida a puerto se proyectarán tomando en consideración las siguientes condicionantes principales:

- La configuración general del puerto y la integración de la entrada/salida 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 la configuran.

- 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 con llevar unos índices de agitación en el interior del puerto poco adecuados para la explotación portuaria que se considere).

#### 1.2.1.5.2 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 1.2.1.4 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.
- Dado que las rutas de aproximación habituales están preestablecidas 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 ola  $H_s \leq 3,00$  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  $V_{10.1 \text{ min}} \leq 10.00$  m/s (20 nudos).
  - Velocidad absoluta de la corriente  $V_{c.1 \text{ min}} \leq 0,50$  m/s (1 nudo).
  - Altura de ola  $H_s \leq 3,00$  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 el sobre-ancho que se establece para corregir este efecto.
- 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 sobre-anchos para la navegación en tramos curvos, 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 buques de 8 m de eslora, en el supuesto de capacidad de ceñida de 45°, 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 período de retorno de 5 años.

#### **1.2.1.5.3 ANCHO MÍNIMO DE LA BOCANA DEL PUERTO**

Con independencia del ancho 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, el ancho 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.

#### **1.2.1.6 BALIZAMIENTO DE LA ENTRADA/SALIDA 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 Nacional, las instrucciones de Aplicación y las Recomendaciones de la IALA, que sean pertinentes.

En el caso de que se considere adecuado balizar los morros, los bajos, las profundidades 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.

### 1.2.1.7 ÁREAS DE MANIOBRA

Dentro del concepto de áreas de maniobra, se engloban las zonas que tienen al menos una de las finalidades siguientes:

- Parar el buque.
- Girar el buque.
- Dar arrancada al buque.

Cuando un buque 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 el giro 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 giro 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.

Si se requiere un desarrollo más extenso del tópico abordado en el presente acápite se sugiere revisar el capítulo 8.6 de la ROM 3.1-99.

#### 1.2.1.7.1 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 prevé.
- 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 (rabeo) 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 sólo buque.

#### 1.2.1.7.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA ZONA DE PARADA DEL BUQUE

El dimensionamiento puede ser determinado por métodos determinísticos o probabilísticos.

#### 1.2.1.7.2.1 DIMENSIONAMIENTO POR MÉTODOS DETERMINÍSTICOS

La determinación del espacio de parada de buque (longitud y ancho) se efectuará con los criterios expuestos en la sección 1.6.50, 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 anchos se tomarán en consideración las recomendaciones expuestas en el capítulo 8.6.3 de la ROM 3.1-99.

La configuración que se puede dar a esta 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 giro y atraque se adoptarán además las prescripciones del apartado 1.2.1.7.2.3.

##### 1.2.1.7.2.1.1 Parada en Tramos Rectos

En este supuesto, que se esquematiza en la Figura 1.2.1-8 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, mayorada con el coeficiente de seguridad 2 anteriormente indicado, y con un ancho 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 los anchos se supondrá que el buque navega a la velocidad mínima prevista para esa vía de navegación); este ancho 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 el ancho del modo siguiente:

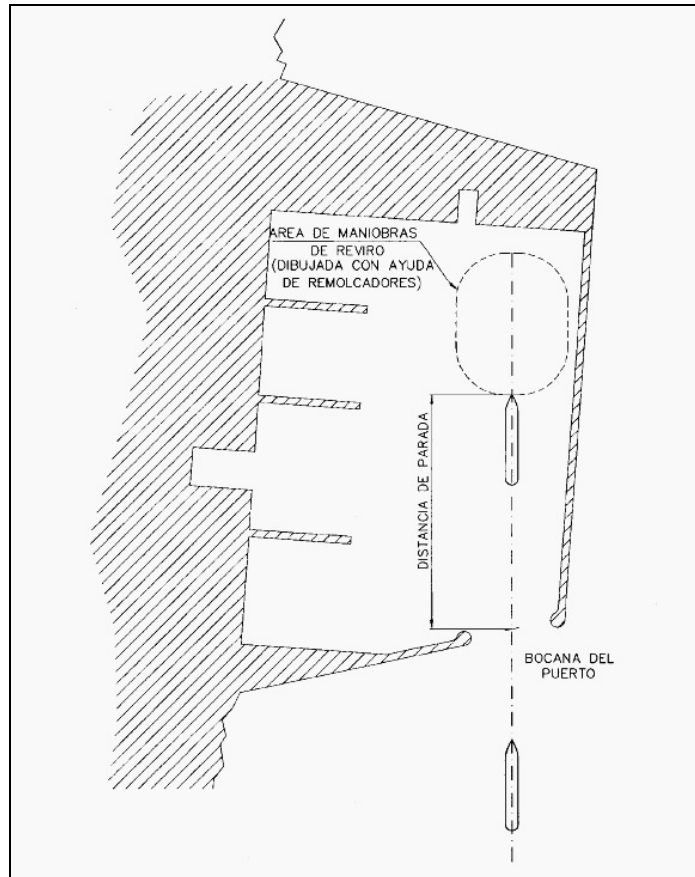
- En los casos en que la parada se efectúe sin remolcadores y la zona de parada termine en un área de giro de buque dimensionada para operación sin remolcadores (ver Figura 1.2.1-9) las dimensiones del área de giro cubren las caídas que pudieran presentarse al final de la maniobra, por lo que no se precisan sobre-anchos adicionales. En estos casos la caída final del buque podría facilitar incluso el inicio de la maniobra de giro, 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 giro de buques dimensionada por operación con remolcadores, se adoptará la solución siguiente dependiendo del tipo de remolcadores disponibles (ver Figura 1.2.1-10):
  - 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 sobre-anchos 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 área de giro, que arrancará en un punto situado en la vía navegable a una eslora (L) de distancia del área de giro.
- 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 área de giro y que tenga sus 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 sí 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.

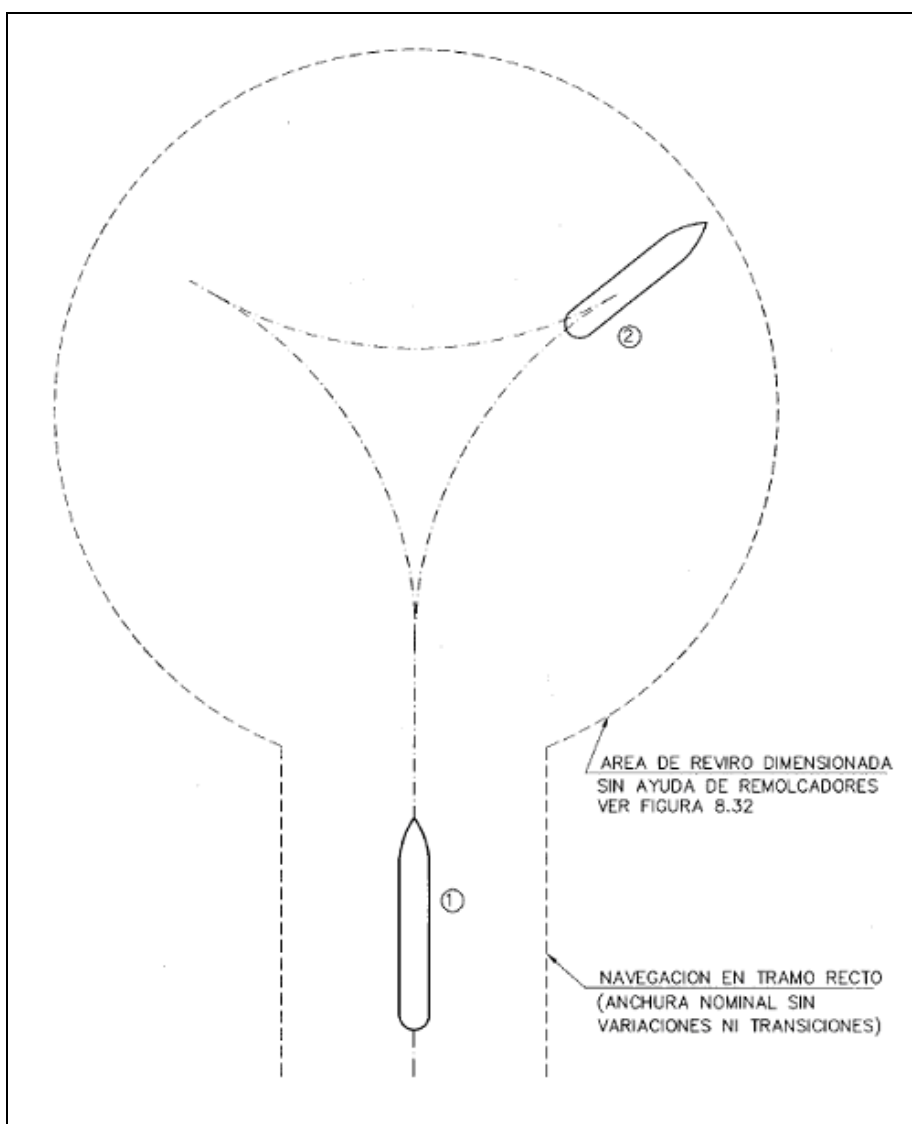


**Figura 1.2.1-8: Parada en tramo recto**



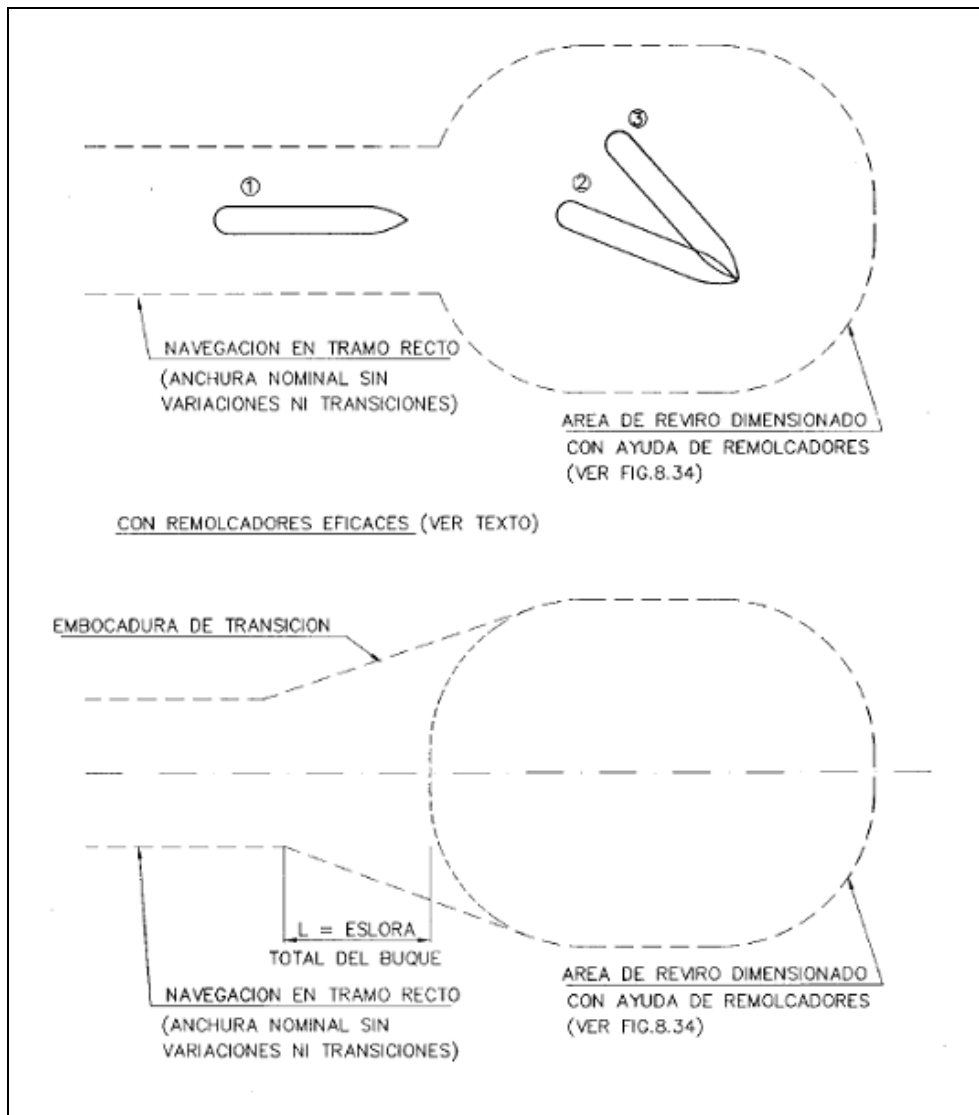
Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

**Figura 1.2.1-9: Tramo final de la distancia de parada terminando en área de giro dimensionada sin remolcadores**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

**Figura 1.2.1-10: Tramo final de la distancia de parada terminando en área de giro dimensionada con remolcadores.**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

### 1.2.1.7.2.1.2 Parada en Círculo

En este supuesto que se esquematiza en la Figura 1.2.1-11, la parada del buque se efectúa a lo largo de un círculo que a su vez se utiliza para efectuar el giro 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 sobre espacios; estas circunstancias hacen que en general este tipo de soluciones sean poco recomendables debido al elevado costo que suele ser necesario para su desarrollo.

**Figura 1.2.1-11: Parada en círculo**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

A falta de estudios de mayor detalle podrán utilizarse los valores siguientes de los diámetros del círculo:

- Operación de buques con una sola hélice.

**Tabla 1.2.1-2: Diámetros del Círculo**

Profundidad de agua	Diámetro del Círculo	
	Recomendado	Mínimo
$\geq 5,0 D$	$8 L_{pp}$	$6 L_{pp}$
$1,5 D$	$10 L_{pp}$	$7 L_{pp}$
$\leq 1,2 D$	$16 L_{pp}$	$10 L_{pp}$

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

Siendo  $D$  el calado del buque y  $L_{pp}$  la Eslora entre perpendiculares.

Si se requiere un desarrollo más extenso del tópico abordado en el presente acápite se sugiere revisar el capítulo 8.6 de la ROM 3.1-99.

#### 1.2.1.7.2.1.3 Parada en Trayectorias Mixtas

En este supuesto que se esquematiza en la Figura 1.2.1-12 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 giro posterior, o una maniobra completa de parada y giro en círculo, por lo que estas trayectorias necesitarán habitualmente disponer de un área de giro posterior a la distancia de parada para efectuar las maniobras de aproximación, atraque y salida de los buques de los muelles.

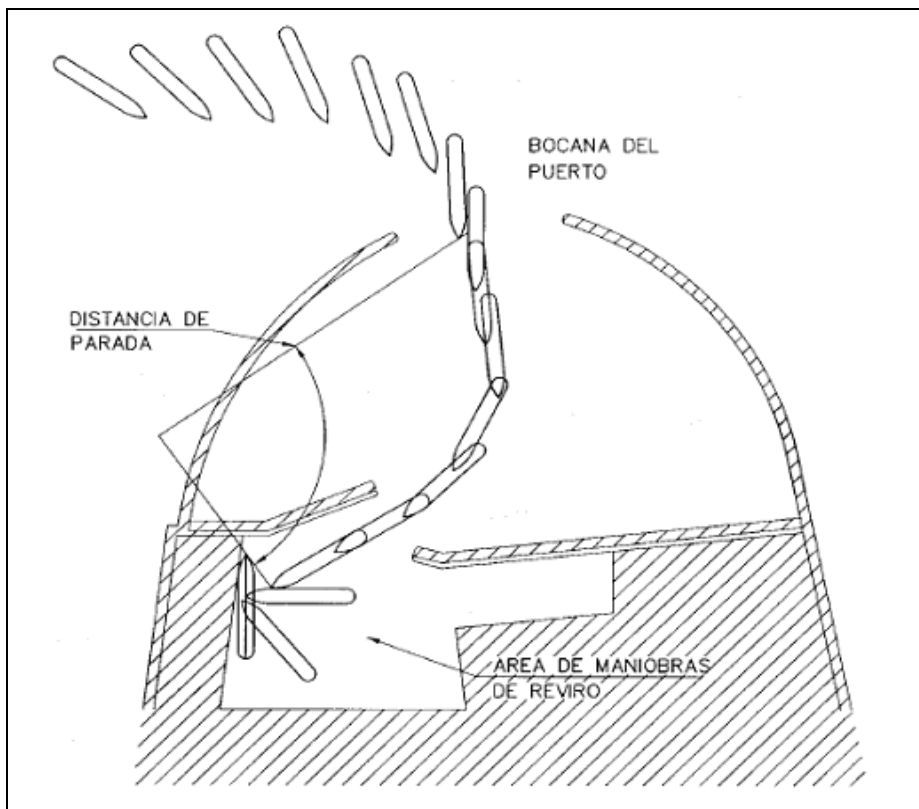
La determinación de los espacios requeridos para esta maniobra se efectuará con los criterios expuestos en el apartado a), aplicándoles a los tramos rectos de la trayectoria, y con los criterios expuestos en el apartado b) conjuntamente con los aplicables a la navegación en tramos curvos, para los tramos 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 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 (rabeo).

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.

Figura 1.2.1-12: Parada en trayectoria mixta



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

#### 1.2.1.7.2.2 DIMENSIONAMIENTO POR MÉTODOS PROBABILÍSTICOS

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 ROM 3.1-

99 Parte 9 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 (por ejemplo, balizamiento y las imprecisiones asociadas a él), puesto que todas aquellas condiciones que no puedan modelarse deberán ser consideradas por otros procedimientos. El esquema seguido en este capítulo 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) 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) Conocer las características del área de maniobras y de su entorno.
- 3) Definir los sistemas de señalización y balizamiento que se pueden instalar, así como la forma en que se incorporan al simulador.
- 4) Definir las condiciones climáticas límites de operación según el tipo y las dimensiones de los buques, los remolcadores disponibles, incluyendo cualquier condición particular del caso.
- 5) 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) 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).
- 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. Se recomienda utilizar un número de pasadas comprendido entre 12 y 15 para la realización de proyectos definitivos.
- 8) Concretar las secciones transversales del área de maniobras en las que se va a efectuar la evaluación de espacios ocupados por el buque.
- 9) Analizar estadísticamente los resultados obtenidos en el simulador, atendiendo a la finalidad del estudio.
- 10) Seleccionar las funciones de distribución (preferentemente un mismo tipo para las bandas y otro para el centro de gravedad, si es preciso).

Para analizar el ancho 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 sobre pasada 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 la ROM 3.1-99 Parte 2.

El ancho nominal de cada sección estudiada del área de maniobras determinada por este método semi probabilístico será:

$B_n =$  [Ancho entre bandas calculada estadísticamente en función del riesgo  $E$  prefijado] + [sobre anchos debidos a efectos no contemplados en el simulador, que se calcularán con los criterios establecidos por el método determinístico] + [Margen de Seguridad  $rh_{sd}$  valorado con los criterios establecidos por el método determinístico].

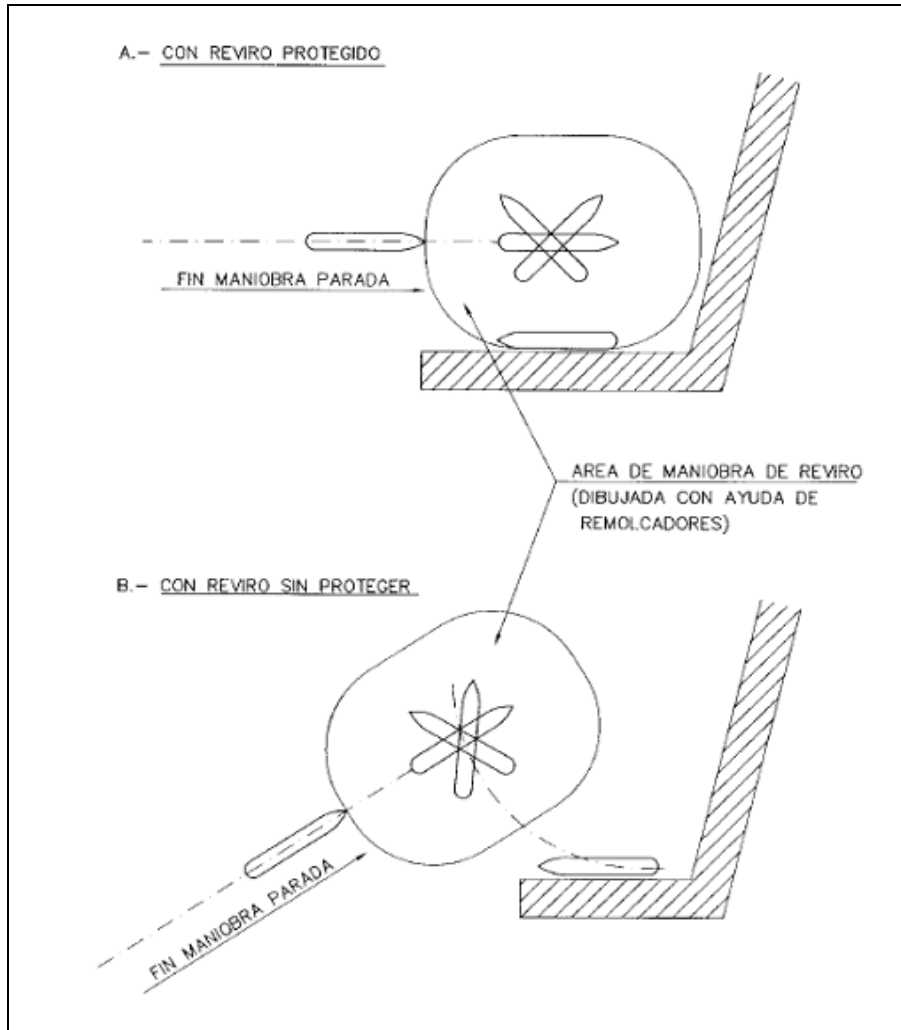
#### 1.2.1.7.2.3 PARADA FUERA DE AGUAS PROTEGIDAS

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 giro 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 giro o de aproximación a los muelles con auxilio de remolcadores. Ver Figura 1.2.1-13. 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  $H_s \leq 2,00 \text{ m}$ .

Valores que en Chile son habituales en las resoluciones operacionales de las instalaciones. Estas condiciones se consideran como no direccionales dada las características de la maniobra.

Figura 1.2.1-13: Parada fuera de áreas adecuadas para las maniobras de giro y atraque



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

### 1.2.1.7.3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS ZONAS DE MANIOBRAS DE GIRO

#### 1.2.1.7.3.1 DIMENSIONAMIENTO POR MÉTODOS DETERMINÍSTICOS

Las dimensiones de las áreas de maniobra de giro 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 giro, 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 Figura 1.2.1-14):

$$R_{sr} = R \cdot \tan 30^\circ + K \cdot L + 0,35 \cdot L \quad (1-2)$$

Donde:

$R_{sr}$  : Radio del círculo de maniobra, para operación sin remolcadores.

$L$  : Eslora total del buque.

$K$  : Distancia del punto giratorio a la proa o a la popa del buque (la más desfavorable).

$R$  : Radio mínimo de la trayectoria del buque en marcha adelante o marcha atrás, para el que, a reserva de estudios de mayor detalle, se tomarán los valores siguientes en función de la profundidad de agua en el emplazamiento:

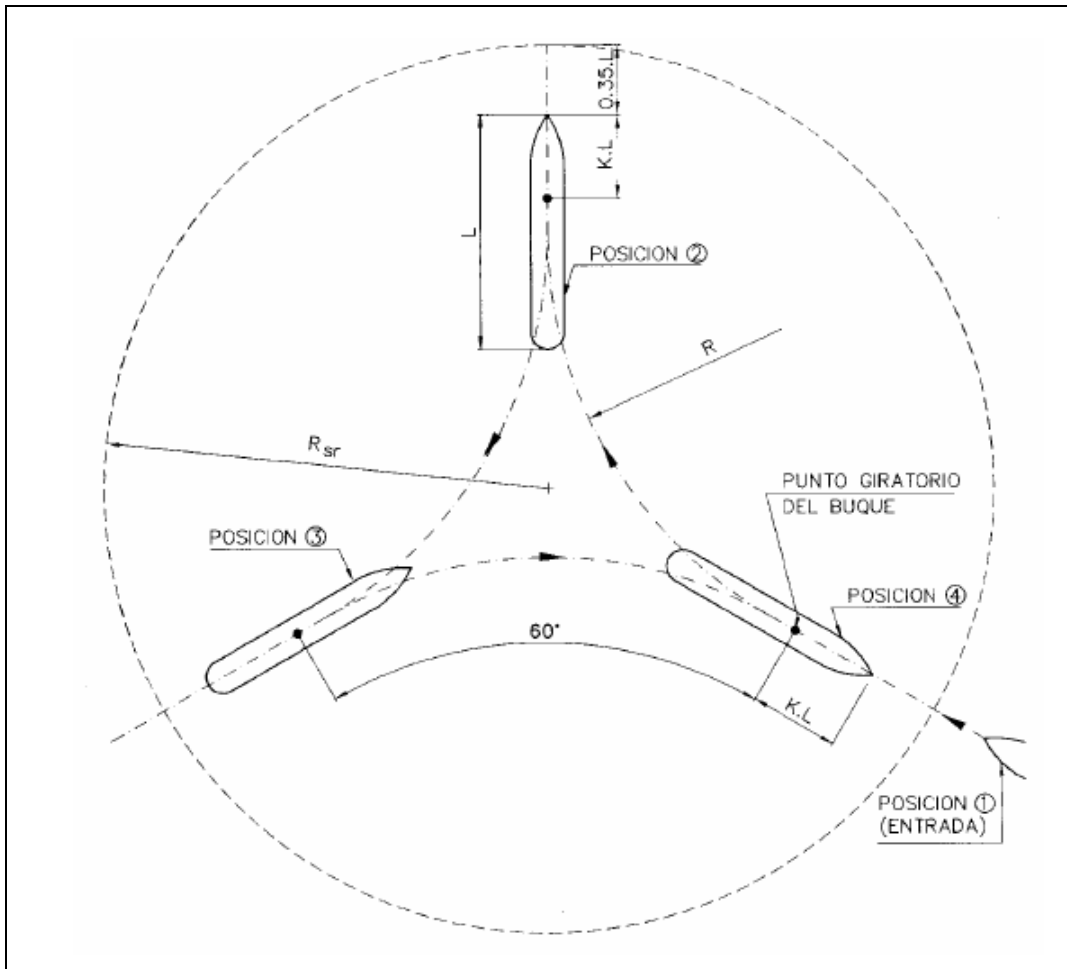
**Tabla 1.2.1-3: Radio mínimo de la trayectoria del buque**

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

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

Siendo  $D$  el calado del buque y  $L_{pp}$  la eslora entre perpendiculares.

Figura 1.2.1-14: Área de giro sin ayuda de remolcadores ni fondeo de anclas



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

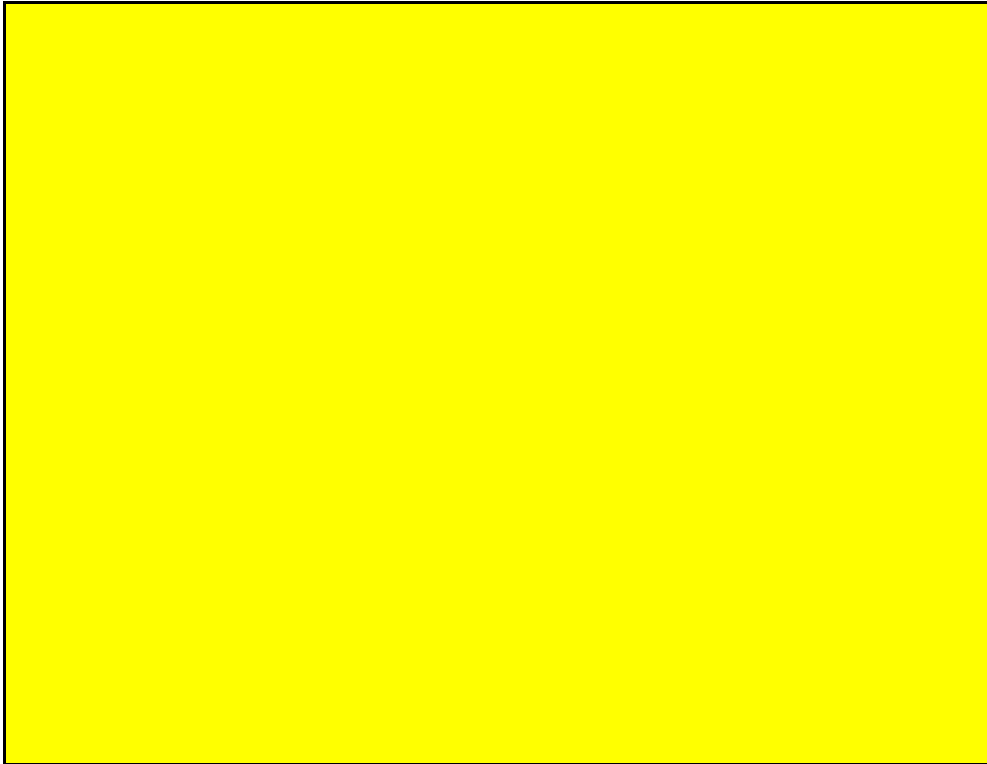
Estas dimensiones corresponden a condiciones de operación que no superen los valores siguientes:

- 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 1.2.1.7.2.1 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 áreas 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 ( $r_{hsd}$ ) 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 Figura 1.2.1-15).

**Figura 1.2.1-15 Área de giro sin ayuda de remolcadores y con fondeo de anclas**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

Si el buque lleva a cabo la maniobra utilizando el ancla, ha de fondear la ubicada en el costado de la embarcación, 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 ( $r_{hsd}$ ) 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 Puente 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  $V_{10.1 \text{ min}} \leq 10.00 \text{ m/s}$  (20 nudos).
- Velocidad absoluta de la corriente  $V_{c.1 \text{ min}} \leq 0,50 \text{ m/s}$  (1 nudo).
- Altura de ola  $H_s \leq 2,00 \text{ m}$ .

#### b) Maniobras con Ayudas de Remolcadores

En el supuesto de que las maniobras de giro del buque se efectúen con ayuda de remolcadores, las dimensiones resultantes del área de maniobras se esquematizan en la Figura 1.2.1-16, en donde se define una superficie a partir de un rectángulo central de ancho  $2BG$  y longitud  $2LG$  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:

- $BG \geq 0,10 L$
- $LG \geq 0,35 L$
- $R_{cr} \geq 0,80 L$

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  $L$  y están determinadas en el supuesto de que las condiciones límite de operación no superen los valores siguientes:

- Velocidad absoluta del viento  $V_{10.1 \text{ min}} \leq 10.00 \text{ m/s}$  (20 nudos).
- Velocidad absoluta de la corriente  $V_{c.1 \text{ min}} \leq 0,10 \text{ m/s}$  (0,2 nudos).
- Altura de ola  $H_s \leq 1,50 / 2,00 \text{ m}$  Según tipo de remolcadores disponibles.

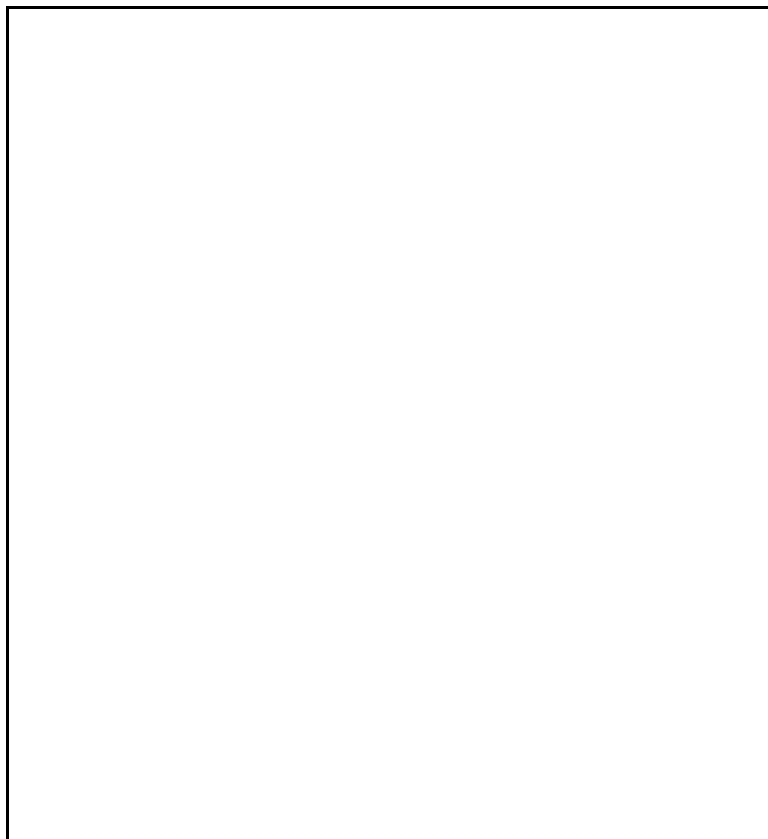


La potencia necesaria de los remolcadores para que se puedan adoptar los valores mínimos del área de maniobras se calcularán según los criterios expuestos en el apartado 1.2.2-8 y 1.2.2-9, aplicados a los valores límites de las condiciones climáticas indicados (si son compatibles con la configuración 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 1.2.2-8.

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 Figura 1.2.1-16.
- 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 descompensados producidos por las mayores acciones debidas a los vientos, oleajes y corrientes. El cálculo de estas derivas se efectuará con los criterios siguientes, suponiendo que un giro de 180° se efectúa con velocidad angular uniforme en un tiempo de 30 minutos.

**Figura 1.2.1-16 Área de giro con ayuda de remolcadores**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

La determinación de áreas para maniobras de giro con ayuda de remolcadores, realizada de acuerdo al esquema anteriormente descrito, ha sido habitualmente incorporada en los estudios de maniobras aprobados por DIRECTEMAR.

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 esta guía.

- 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 giro.

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 giro.

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/s.
- 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 giro.

Este recurso de aumentar las dimensiones del área de maniobra sin aumento de la potencia de remolque, no podrá adoptarse en la dirección transversal al muelle al que se vaya a 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 ríos, 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 íntegramente las funciones de los remolcadores, podrán reducirse las dimensiones de este área de giro 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 giro. 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.

Normalmente, las naves portacontenedores y los buques de pasaje, cuentan con potentes hélices laterales que permiten maniobrar con menor cantidad de remolcadores en espacios más reducidos. En el caso de los buques de pasaje modernos, además de las hélices laterales, tienen sistemas de propulsión con hélices que giran en  $360^\circ$ , lo que les permite hacer el giro prácticamente en un punto.

#### 1.2.1.7.3.2 DIMENSIONAMIENTO POR MÉTODOS SEMIPROBABILÍSTICOS

En este procedimiento el dimensionamiento geométrico de los espacios para el giro 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 ROM 3.1-99 Parte 9 se recogen los aspectos principales de los Modelos de Simulación, que son la herramienta más frecuentemente utilizada para este tipo de estudios.

De forma complementaria para este acápite se deberá revisar el capítulo 8.6 de la ROM 3.1-99.

#### **1.2.1.7.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA ZONA DE ARRANCADA DE BUQUES**

El dimensionamiento de la zona de arrancada de buques, ya sea por métodos determinísticos o semi probabilísticos 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 espacialidad surgen en el tramo inicial de la maniobra y normalmente quedan cubiertos por las previsiones 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 la sección 1.5.
- 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.

#### 1.2.1.7.5 BALIZAMIENTO DE LAS ÁREAS 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.

En nuestro país es habitual la instalación de balizamiento de maniobra para la aproximación a un terminal o sitio de atraque y otro para determinar el punto de parada, giro o fondeo del ancla.

#### 1.2.1.8 FONDEADEROS

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 típicamente 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.

Para complementar todos los sub capítulos contenidos en el tópico “Fondeaderos” se deberá revisar el capítulo 8.7 de la ROM 3.1-99.

#### **1.2.1.8.1 FACTORES QUE AFECTAN EL PROYECTO DE FONDEADEROS**

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.

Las grandes profundidades en nuestras costas no permiten el fondeo de naves en forma segura, durante la pasada de frentes de mal tiempo, en la mayoría de nuestros puertos, debiendo zarpar a capear fuera de las bahías donde se ubican los puertos.

#### 1.2.1.8.2 DIMENSIONES DE FONDEADEROS

El dimensionamiento de un fondeadero depende principalmente de cual sea la forma seleccionada para fondear el buque.

- 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.
- Fondeo de un buque Barbas de Gato: buque fondeado con dos anclas por proa a barbas de gato.
- Fondeo de un buque a la entrante y vaciante: 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.
- Fondeo de un buque con ancla en proa y en popa: 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 recoger el ancla a mano) que se pudiera fondear por la popa, o de dos rezones.

Para procedimientos más específicos deberá revisar el capítulo 8.7.3 de la ROM 3.1-99.

#### 1.2.1.8.2.1 LONGITUD DE CADENA A FILAR

La longitud de cadena que debe filar (cadena que se larga por encima de la borda) un buque determinado depende de numerosos factores, y especialmente de la calidad del suelo, de la duración de la permanencia en el fondeadero, del espacio para bornear (Girar el buque sobre sus amarras) 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 prevalecientes, 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 el 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:

**Tabla 1.2.1-4: Ángulos de inclinación**

Ángulo de inclinación	0°	5°	10°	15°
% máximo poder de agarre	100%	80%	60%	40%

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

#### 1.2.1.8.2.2 SEPARACIÓN 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 distancia igual al doble de los valores calculados, se podrán producir las siguientes contingencias sin que ocasionen riesgos ni dificultades:

- 1) Dos buques adyacentes podrán borrar en direcciones opuestas en máximo acercamiento con sus cadenas completamente tensas. Esto es poco probable que llegue a suceder, ya que con vientos y corrientes apreciables presentarán en forma similar.
- 2) Existe la posibilidad de que tiendan a borrar en sentido contrario por acción de la corriente, cuando está rota o se invierte, y a la vez existan vientos leves, pero en ese caso las cadenas no estarán bien tensas.
- 3) Un buque fondeado en la enfilación de otros dos próximos adyacentes, puede recoger el ancla y zarpar en forma independiente sin peligro de abordarlos.
- 4) Un buque puede efectuar su aproximación para tomar fondeadero entre otros dos ya fondeados, sin riesgo de que los adyacentes, al borrar, 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 cuatro 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 borrar 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 aun 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 sección 1.2.1.8.2.1), 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.

#### 1.2.1.8.2.3 DISTRIBUCIÓN Y EMPLAZAMIENTO DE FONDEADEROS

La distribución y el emplazamiento de los fondeaderos se adaptarán 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.

#### **1.2.1.8.3 BALIZAMIENTO DE LOS FONDEADEROS**

Según indica el capítulo 8.7.4 de la ROM 3.1-99.

#### **1.2.1.9 AMARRADEROS Y CAMPOS DE BOYAS**

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 duques de alba.
- Campos de boyas, que en algún caso se configuran con utilización de las anclas del buque.

Este tipo de instalaciones se ocupa en Chile para la amarra de petroleros, gaseros, graneleros y sistemas para la transferencia de líquidos, graneles y pescado.

#### 1.2.1.9.1 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.

#### 1.2.1.9.2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS ÁREAS DE FLOTACIÓN REQUERIDAS

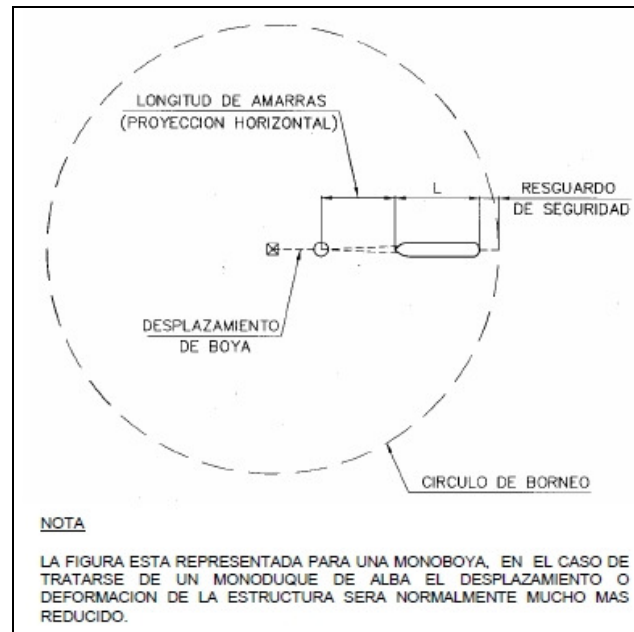
Para determinar el dimensionamiento de las áreas de flotación requeridas se sugiere revisar en extenso el capítulo 8.8.3 de la ROM 3.1-99.

##### 1.2.1.9.2.1 MONOBOYAS O DUQUES DE ALBA

En el caso de que el buque se amarre a una boya, o cualquier otro tipo de estructura (pilote, torre, etc.) por proa, el radio de borneo medio al nivel de la cubierta del buque se puede calcular por el método determinístico, sumando los siguientes conceptos (Figura 1.2.1-17):

- 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 aceptada. 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, en  $30\% \cdot L$  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  $10\% \cdot L$ , con un mínimo de 20 m (salvo para embarcaciones pesqueras y deportivas que podrían reducirse a 5 m).

**Figura 1.2.1-17: Radio de borneo de un buque amarrado a una boya por proa**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

#### 1.2.1.9.2.2 CAMPOS DE BOYAS

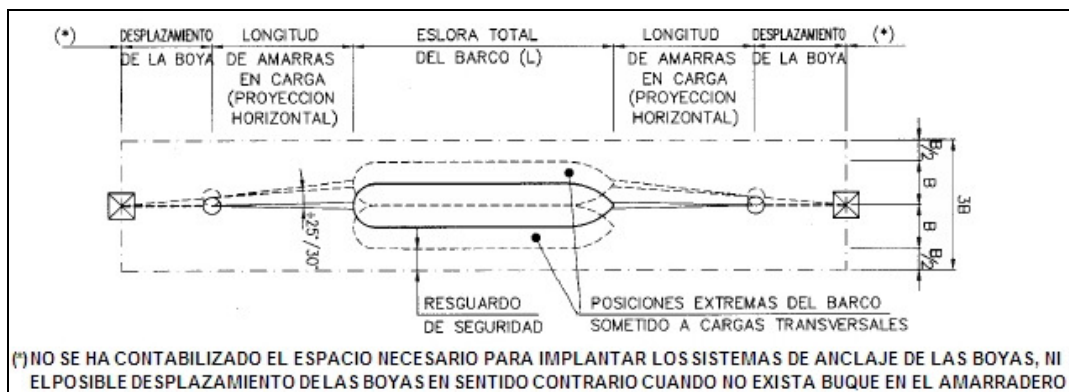
Las dimensiones requeridas para la implantación de un campo de boyas dependen de la configuración que se adopte para el conjunto y de la utilización o no de las propias anclas del buque como sistemas de sujeción del barco. Entre los múltiples esquemas que se pueden desarrollar se han representado en las Figura 1.2.1-18 a Figura 1.2.1-19 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 semi probabilístico 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.

**Figura 1.2.1-18: Superficie para el amarre con dos boyas, una en proa y otra en popa**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

### 1.2.1.9.3 CONDICIONES OPERATIVAS

Las condiciones climáticas que se establecen habitualmente como límites de operación para amarraderos y campos de boyas, dependen de que el buque pueda orientarse libremente a la posición de mínima resistencia, o que la orientación del buque amarrado sea prácticamente fija, considerando los movimientos del buque afectado por la acción de las condiciones meteorológicas y oceanográficas del lugar.

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.



PIANC ha desarrollado una guía práctica con criterios para el movimiento de buques amarrados en puertos, los que también fueron incorporados en el manual de diseño para amarras norteamericano (MIL-HDBK-1026/4A).

Las recomendaciones españolas (ROM) establecen que las condiciones de clima marítimo que se establecen habitualmente como límites de operación para fondeaderos son las que se indican en la Tabla 1.2.1-5, 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 1.2.1-5.

**Tabla 1.2.1-5: Condiciones límite de operación**

	Velocidad absoluta del viento ( $V_{10.1 min}$ )	Velocidad absoluta de la corriente ( $V_{c.1 min}$ )	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 otra en popa:			
Acciones longitudinales	24,0 m/s	2,0 m/s	3,5 m
Acciones transversales	Fondeo no operativo		
Operaciones de carga y descarga	Depende de las características de los equipos.		

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

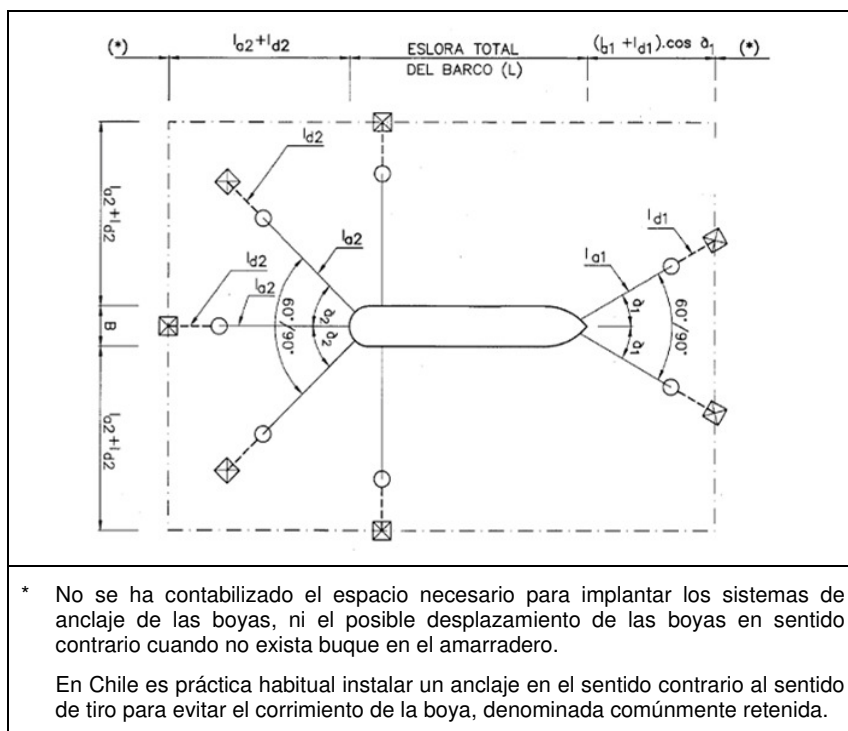
#### 1.2.1.9.4 BALIZAMIENTO DE LOS AMARRADEROS Y CAMPOS DE BOYAS

Según ROM 3.1-99 capítulo 8.8.5.

### 1.2.1.10 CONDICIONES COMUNES APLICABLES A VÍAS DE NAVEGACIÓN, ÁREAS 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 cuál 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. 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 giro, deberá considerarse el ancho requerido por los mayores buques que operen en dichos muelles, tanto en sus posiciones de amarrado, como las operaciones previas de atraque o desatraque.

**Figura 1.2.1-19: Superficie para el amarre en campo de boyas**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

### 1.2.1.11 DÁRSENAS Y MUELLES

En caso de requerir criterios más específicos del presente acápite se sugiere dirigirse en extenso al capítulo 8.10 de la ROM 3.1-99.

#### 1.2.1.11.1 FACTORES QUE AFECTAN A SU DIMENSIONAMIENTO

Las dársenas se dimensionarán tomando en consideración las siguientes condiciones:

- 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 (por ejemplo, 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 dársena. Se analizará en particular la posibilidad de utilizar profundidades de aguas 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.

#### **1.2.1.11.2 ACCESIBILIDAD NÁUTICA A LAS DÁRSENAS**

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 giro y atraque, con o sin remolcadores, no es habitual y, de presentarse, se resolvería con los criterios ya expuestos hasta el momento.

#### **1.2.1.11.3 DIMENSIONES DE LAS DÁRSENAS**

Las dimensiones mínimas de las dársenas vendrán definidas por la longitud de sus muelles y por el ancho del área de flotación, que se determinarán por el método determinístico, enunciado en la ROM 3.1-99, específicamente en el capítulo 8.10.3.

#### **1.2.1.11.4 RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA DÁRSENAS DE EMBARCACIONES DEPORTIVAS**

En el caso habitual de que las dársenas para embarcaciones deportivas incorporen muelles, se seguirán las recomendaciones siguientes que prevén espacios para el amarre y las maniobras de atraque y salida de los barcos.

#### 1.2.1.11.4.1 MUELLES PRINCIPALES

- Separación entre muelles: La separación mínima entre los muelles principales, medida entre extremos de los frentes de atraque (o de los barcos amarrados a ellos si es más desfavorable), es decir, el ancho del área de navegación y maniobras, será, como mínimo, de  $1,75 L$  para buques de diseño con una eslora total ( $L < 12,00$  m) y de  $2,00 L$  para buques de diseño con  $L > 12,00$  m.
- Ancho de los muelles: El ancho recomendado de los muelles 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 frentes de atraque que se dispongan en cada muelle principal; si se prevé algún tipo de tráfico para vehículos ligeros se adoptará un ancho adecuado a las características de los mismos, con un valor mínimo de 2,50 m.

#### 1.2.1.11.4.2 MUELLES SECUNDARIOS DE ATRAQUE

- Separación entre muelles
- Atraques simples: La separación entre ejes 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 el ancho del muelle.
- Atraques dobles: La separación entre ejes 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.
- Longitud de frentes de atraque: La longitud de los frentes de atraque será igual a la eslora máxima  $L$  del buque de diseño. Excepcionalmente podrían admitirse longitudes menores (70 o 80% de  $L$ ) 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.
- Ancho de los frentes de atraque: El ancho recomendada de los frentes de atraque estará comprendida entre 0,80 y 1,50 m en función del tamaño de los barcos.

### 1.2.1.11.5 CONDICIONES LÍMITES DE OPERACIÓN

Las condiciones límites de operación que se adoptan habitualmente para la navegación y maniobras (parada, giro) 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 1.2.1-6 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.

**Tabla 1.2.1-6: Condiciones límites de operación de buques en muelles**

	Velocidad absoluta del viento $V_{10.1 \text{ min}}$	Velocidad absoluta de la corriente $V_{c.1 \text{ min}}$	Altura de ola Hs
<b>1. Atraque de buques</b>			
- Acciones en sentido longitudinal al muelle	17 m/s	1,0 m/s	2,0 m
- Acciones en sentido transversal al muelle	10 m/s	0,1 m/s	1,5 m
<b>2. Paralización operaciones carga y descarga (para equipos convencionales)</b>			
- Acciones en sentido longitudinal al muelle			
a) Petrolero			
< 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
b) Graneleros			
Cargando	22 m/s	1,5 m/s	1,5 m
Descargando	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
c) Transportadores de gases licuados			
< 60.000 m <sup>3</sup>	22 m/s	1,5 m/s	1,2 m
> 60.000 m <sup>3</sup>	22 m/s	1,5 m/s	1,5 m
d) Mercantes de carga general, pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
e) Portacontenedores, Ro-Ro y ferries	22 m/s	1,5 m/s	0,5 m
f) Transatlánticos y cruceros <sup>(1)</sup>	22 m/s	1,5 m/s	0,5 m
g) Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	1,5 m/s	0,6 m
- Acciones en sentido transversal al muelle			
a) Petrolero			
< 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
b) Graneleros			
Cargando	22 m/s	0,7 m/s	1,0 m
Descargando	22 m/s	0,7 m/s	0,8 m
c) Transportadores de gases licuados			
< 60.000 m <sup>3</sup>	16 m/s	0,5 m/s	0,8 m
> 60.000 m <sup>3</sup>	16 m/s	0,5 m/s	1,0 m
d) Mercantes de carga general, pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	0,7 m/s	0,8 m



	Velocidad absoluta del viento $V_{10.1 \text{ min}}$	Velocidad absoluta de la corriente $V_{c.1 \text{ min}}$	Altura de ola $H_s$
e) Portacontenedores, Ro-Ro y ferries	22 m/s	0,5 m/s	0,3 m
f) Transatlánticos y cruceros <sup>(1)</sup>	22 m/s	0,5 m/s	0,3 m
g) 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			
a) Acciones en sentido longitudinal al muelle	30 m/s	2,0 m/s	3,0 m
b) Acciones en transversal al muelle	25 m/s	1,0 m/s	2,0 m
- Transatlánticos y cruceros <sup>(2)</sup>			
a) Acciones en sentido longitudinal al muelle	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
b) Acciones en transversal al muelle	22 m/s	0,7 m/s	0,7 m
- Embarcaciones deportivas <sup>(2)</sup>			
a) Acciones en sentido longitudinal al muelle	22 m/s	1,5 m/s	0,4 m
b) Acciones en 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		
Donde:			
$V_{10.1 \text{ min}}$	: Velocidad media del viento, corresponde a 10 m de altura y ráfaga de 1 minuto		
$V_{c.1 \text{ min}}$	: Velocidad media de la corriente 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 $\pm 45^\circ$ 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		
<sup>(1)</sup>	Las condiciones se refieren al embarque u desembarque del pasaje.		
<sup>(2)</sup>	Las condiciones se refieren a los límites para mantener una habitabilidad aceptable con el pasaje a bordo.		

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 8

### 1.2.1.11.6 BALIZAMIENTO DE LAS DÁRSENAS Y SEÑALIZACIÓN DE MUELLES

Según lo indicado en la ROM 3.1-99 Capítulo 8.10.6.

### 1.2.1.12 CONDICIONES LÍMITES DE OPERACIÓN

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 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 cuál sea el valor que en un momento tengan las restantes variables; la posibilidad de operar con valores sobre pasados de una variable asociados a valores no sobre pasados 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 área que se considera en relación con el tiempo total disponible, es decir el tiempo en el que el área 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.

### 1.2.1.13 CONSIDERACIONES GENERALES DE ALZADO DE ACUERDO A PIANC<sup>2</sup>

Este punto se refiere a la preparación de las recomendaciones generales para la disposición y elección de las dimensiones adecuadas para los canales de aproximación y áreas de maniobrabilidad a ser utilizadas por los grandes buques hasta de 600.000 toneladas de peso muerto (DWT).

Para establecer recomendaciones generales, los datos de diseño necesarios para seleccionar las dimensiones y layout de aproximación para los grandes buques son:

- Las dimensiones máximas y las características mínimas de maniobrabilidad de los buques a ser recogidos, aquí serán llamadas “características de planificación”.
- Las condiciones más desfavorables de marea, corriente, oleaje y visibilidad bajo las cuales se entiende permitido maniobrar, buques con dimensiones hasta las características de planificación. Esto aquí será denominado “Condiciones Límites Operacionales”.
- El “volumen del tráfico esperado”, si es alto, puede requerir márgenes adicionales de seguridad y un mayor tiempo para dejar el canal.

Estas recomendaciones no tienen en cuenta “casos especiales” para buques individuales que puedan requerir sus propios cálculos, usando sus características particulares bajo condiciones dadas de operación.

Las “Condiciones Límites Operacionales” dependen de las siguientes condiciones del lugar:

- Marea astronómica.
- Viento
- Cambios de nivel del agua debido a condiciones meteorológicas, en particular olas de tormenta y olas negativas.
- Seiches

---

<sup>2</sup> International Commission for the reception of large ship. Permanent International Association of Navigator Congresses. Supplement to Bulletin 35 (Vol. I / 1980)

- Olas (amplitud, período, dirección).
- Corrientes
- Visibilidad
- Hielo

Las "condiciones límites operacionales" se establecen en cada caso después de un estudio económico comparativo de las diferentes posibilidades en las que se tienen en cuenta los costos de inversión, costos de mantenimiento y los requisitos necesarios para una navegación segura.

Con el fin de determinar estos requisitos, es necesario hacer un estudio estadístico de las condiciones del lugar mencionado anteriormente. El resultado de las "condiciones límites operacionales" puede ser afectada, en algunos casos, por otras consideraciones diferentes que las económicas (gastos de embarque de prácticos, el uso de remolcadores, etc.).

Las presentes recomendaciones se basan en la experiencia a la fecha, de las instalaciones que pueden ser ofrecidas por el puerto (practicaje, remolque, señalización de navegación, etc.) y las ayudas a la navegación que pueden ser llevadas a bordo del buque.

Se recomienda que sean usadas las unidades del Sistema Internacional (SI) en cualquier documentación. Si es necesario los valores en nudos y millas náuticas se pueden mencionar entre paréntesis después de los valores SI.

#### **1.2.1.13.1 PROFUNDIDAD DE LAS VÍAS DE APROXIMACIÓN**

El nivel de agua de referencia se calcula teniendo en cuenta:

- El nivel mínimo del mar que se experimenta en cualquier punto del canal, incluyendo el nivel de reducción de sonda, por la elección de condiciones de las más bajas mareas.

- Un margen de seguridad para permitir que el máximo tiempo de planificado de maniobra no sea excedido.
- Un resguardo por la falta de precisión en el pronóstico del nivel de agua.

El calado admisible, corresponde a la máxima inmersión del casco de un buque en aguas tranquilas a velocidad cero, al cual el puerto puede permitir maniobrar un buque bajo las "condiciones límite operacionales".

El calado admisible se obtiene del calado de los buques más grandes a ser recibidos en el puerto, tomados del certificado internacional de líneas de carga (Certificado Internacional de Francobordo). Teniendo en cuenta las correcciones por salinidad del agua y las condiciones de carga. Es necesaria una corrección mínima al calado de + 0,30 para permitir las incertidumbres en el calado real.

El nivel de profundidad nominal del canal es, por definición, el nivel sobre el cual no existen obstáculos a la navegación dentro del área que está siendo considerada.

El resguardo bruto bajo la quilla es por definición el margen entre la quilla de un buque y nivel del lecho del canal, teniendo en cuenta el nivel de referencia del agua durante su pasada y el máximo calado del buque, medido en reposo en aguas tranquilas.

El resguardo neto bajo la quilla es, por definición, el mínimo margen que queda entre la quilla del buque y el nivel nominal del lecho del canal, moviéndose el buque a la velocidad planeada bajo la influencia de las condiciones más severas de viento y oleaje diseñadas para las condiciones límites operacionales.

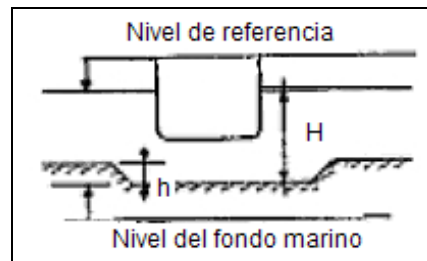
El resguardo neto bajo la quilla, que deberá ser al menos de 0,5 m, tiene que ser determinado como un margen de seguridad contra los golpes en el fondo. Se deberá aumentar cuando esto implique graves peligros, por ejemplo, se considera normalmente un margen de 1m para canales con fondo rocoso. Otros factores implicados son el tipo y tamaño del buque, tipo de productos transportados, las consecuencias medioambientales, densidad de tráfico, etc.

Los movimientos verticales (la diferencia entre el resguardo grueso y neto bajo la quilla) que ocurren bajo los efectos del oleaje y debido a la velocidad del buque (squat) deben ser calculados de acuerdo a varios parámetros (amplitud, período y dirección del oleaje, dimensiones y velocidad del buque, profundidad del agua).

Para determinar el squat, se deberá tomar en cuenta la máxima velocidad permitida. Se deberá tener en cuenta que la velocidad en un canal depende también de la velocidad de las corrientes cruzadas, si las hubiera.

Se deberá tener particular atención a la relación  $h/H$ , que es la altura de la pendiente lateral del canal ( $h$ ) dividido por la profundidad del agua ( $H$ ).

**Figura 1.2.1-20: Perfil del canal**



Fuente: International Commission for the reception of large ship

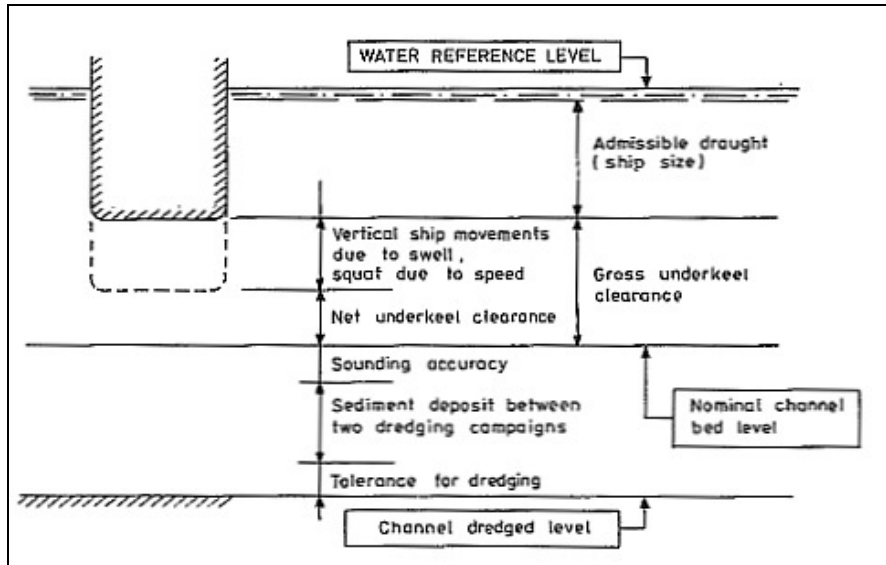
El nivel de dragado del canal se deriva del nivel nominal del lecho del canal, teniendo en cuenta:

- La cantidad de sedimentación en el canal entre dos dragados de mantenimiento.
- La tolerancia en la ejecución del dragado.
- La exactitud de los sondajes.

En la elección del nivel de agua de referencia, el nivel nominal del lecho del canal y el resguardo bajo la quilla, se deberán siempre tener en cuenta para evitar errores en los parámetros

Consecuentemente, no es posible establecer normas exactas concernientes a la profundidad mínima en los accesos al puerto en atención a la gran importancia de las condiciones locales.

**Figura 1.2.1-21: Definición del resguardo bajo la quilla.**



Fuente: Internacional Commission for the reception of large ship

En la etapa de un plan preliminar, las siguientes características pueden ser útiles, teniendo en cuenta la información obtenida de los estudios particulares y las observaciones realizadas al respecto:

- Área abierta al océano: Expuesta a fuerte oleaje y olas de largo período por la popa o aleta, donde la velocidad puede ser alta, el resguardo bruto bajo la quilla será alrededor del 20% del calado máximo de los buques a ser atendidos.
- Área de espera: Expuesta a fuerte oleaje y olas de largo período, el resguardo bruto bajo la quilla será alrededor del 15% del calado.
- Canal: Secciones expuestas a fuerte oleaje y olas de largo período, el resguardo bruto bajo la quilla será alrededor del 15% del calado.
- Canal: Menos expuesto a oleaje, el resguardo bruto bajo la quilla será alrededor del 10% del calado.
- Área de maniobrabilidad y atraque: Expuesta a oleaje, el resguardo bruto bajo la quilla será alrededor del 10% al 15% del calado.

- Área de maniobrabilidad y atraque: Protegida, el resguardo bruto bajo la quilla será alrededor del 7% del calado.

#### 1.2.1.13.2 TRAZADO DEL CANAL

En la mayoría de los casos, el trazado de un canal está más o menos predeterminado por la geografía, las condiciones y circunstancias locales. Cuando son posibles varios trazados del canal, se deberá escoger un canal que ofrezca el paso de navegación más fácil bajo las condiciones más estables y claramente definidas. En la práctica la selección de un trazado de canal será siempre un compromiso entre:

- Aspectos de navegabilidad e hidráulica, con el debido resguardo de las condiciones límites operacionales y,
- Los equipos con base en tierra y a bordo disponibles para ayudar a la navegación.

Cuando la maniobrabilidad del buque es fuertemente afectada por corrientes cruzadas o vientos, es preferible que el ángulo de deriva no exceda de  $10^\circ$  a  $15^\circ$ , al menos cuando sean esperadas situaciones de navegación difícil, teniendo en cuenta la mínima velocidad de los grandes buques que están utilizando el canal.

Las corrientes deberán enfrentarse preferiblemente por la proa.

Dado que las alteraciones de rumbo son importantes puntos de peligro, se preferirá canales con un trazado recto, pequeños cambios de rumbo a largos intervalos de acuerdo con el flujo natural de las corrientes, etc. También es importante mencionar que las ayudas a la navegación permiten un estricto control de los movimientos del buque y sus posiciones.

Las curvas del canal deben permitir una conducción de la navegación circular. Por lo tanto, una sola gran curva es mejor que una secuencia de pequeñas curvas a intervalos cortos. Sin embargo, la conducción de la navegación circular requiere que las curvas del canal sean bien demarcadas de tal manera que el control de posición sea posible sin perder tiempo verificando la situación.



Las curvas deben tener un radio de al menos 5 veces la eslora del buque más grande, preferiblemente 10 veces y más.

Las líneas rectas intermedias entre curvas deben tener, si es posible, una longitud de al menos 10 veces la eslora del buque más grande.

Pasajes estrechos (puentes, etc.) en el curso de los canales requieren de una muy bien demarcada línea de rumbo recta, de al menos 5 veces la eslora del buque más grande en ambos lados. El ancho mínimo del canal no deberá ser menor de 5 veces la manga del buque más grande.

Los accidentes o averías pueden ocurrir ya sea en el canal o en el puerto; teniendo como resultado una congestión o una paralización del tráfico. En cada canal de aproximación y para cada categoría de buques, hay un "punto de no retorno", más allá del cual, un barco de la categoría en cuestión no puede parar, regresar o salir del canal.

Por ello se recomienda:

- Que las oportunidades para salir del canal sean provistas cada cierto trecho, como especialmente para canales largos y de tráfico pesado de manera que un buque averiado pueda salir del canal tan pronto como sea posible.
- Que la distancia del "punto de no retorno" para los grandes buques a la entrada del puerto sea tan corta como sea posible.

### **1.2.1.13.3 ANCHO DE CANALES DE ACCESO**

El ancho nominal es el ancho mínima de un canal de acceso sobre el cual la profundidad nominal está determinada.

El ancho nominal de un canal con un sólo sentido tráfico está determinado por:

- La manga máxima de los buques que serán recibidos.
- La diferencia (solamente la componente transversal) entre la verdadera posición del buque y la posición del buque estimada por el navegante, usando todo tipo de información, en particular las ayudas a la navegación.

- La desviación adicional que pueda ocurrir desde el momento cuando la desviación es notada primeramente hasta el momento cuando la corrección se haga efectiva.
- El ancho adicional necesario tomando en cuenta la deriva debida a las corrientes cruzadas.

$$viz \cdot \frac{L}{2} \cdot \text{sen}\beta \quad (1-3)$$

Donde.

$L$  : Longitud del buque

$$\tan \beta = \frac{\text{Componente transversal de la velocidad de la corriente}}{\text{Velocidad del buque}} \quad (1-4)$$

Similarmente se deberá tomar en cuenta los vientos cruzados.

- Un margen de seguridad, no menor de la mitad de la manga del buque en cada lado.

El ancho mínimo nominal de un canal, por lo tanto, depende esencialmente de:

- Tamaño y características de la maniobrabilidad del buque más grande a ser recibido.

Cuando no esté disponible una adecuada cantidad de datos de maniobrabilidad confiables, no se podrá dar indicaciones generales tan precisas respecto de la guiñada del buque y su correspondiente desviación del rumbo bajo las condiciones definidas de tránsito. Pero tiene que hacerse hincapié que mientras más grande los buques llega a ser más predominante la influencia de la inercia y mayor será el ancho necesitado.

- Las características de las ayudas a la navegación y la señalización marítima deben ser diseñadas de acuerdo con las situaciones de navegación predominante.

- La precisión y la fiabilidad de las ayudas a la navegación. La posición actual de las boyas por ejemplo, marcando los límites de un canal en comparación con su posición teórica muestra la desviación debido a las inexactitudes de amarra y movimientos alrededor de un muerto (radio de giro), o fuera de su posición debido a la tensión del tiempo (garreando), etc. Incluso el mejor sistema de radio basado en tierra no puede estar completamente libre de errores o fallas.

En este sentido, también la naturaleza, la exactitud y la renovación de la información a los capitanes y prácticos de todo tipo de ayudas a la navegación se debe tener en cuenta.

- El volumen y la naturaleza del tráfico, así como la velocidad de tránsito permitida.
- Lo hidrográfico y hasta cierto punto también las condiciones meteorológicas, como la exposición al oleaje y al viento. De especial importancia son:
  - La naturaleza e intensidad de las corrientes, particularmente de la componente cruzada,
  - La variación de las corrientes a lo largo del canal.

Si ocurren variaciones rápidas de la componente transversal de las corrientes, Se deberá hacer una asignación adicional al ancho del canal. Se recomienda que el ancho adicional sea una o dos veces la manga del buque, dependiendo de la magnitud y duración de la variación.

- Por último, pero no menos importante, el ancho también depende de los factores humanos, en particular la experiencia de Capitanes y prácticos. Es una gran diferencia cuando un canal existente tiene que ser ampliado para buques más grandes, o si es un nuevo canal que tiene que ser diseñado para tráfico aún no existente.
- En el presente estado del conocimiento, la influencia de los diversos parámetros mencionados anteriormente en el ancho nominal necesario de canales de acceso, puede ser sólo parcialmente definida con la precisión deseada.

Una revisión de varios canales de un sólo sentido muestra que sus anchos varían entre 4, 8 y hasta 10 veces la manga de los buques más grandes recibidos, como resultado de las condiciones y circunstancias locales.

La única recomendación general que se puede hacer en la actualidad es que el ancho nominal no debería ser menor que 5 veces la manga del buque más grande debido al riesgo involucrado, en atención a que no puede ser totalmente excluidas las fallas en equipos (basados en tierra o a bordo).

Bajo condiciones más adversas, particularmente en la presencia de corrientes cruzadas, el ancho deberá ser aumentado consecuentemente.

En curvas, el ancho del canal debe ser más grande de acuerdo con:

- El ancho adicional necesario para la trayectoria debido a la eslora  $L$  del buque, por lo tanto:

$$\frac{L^2}{8 \cdot R} \quad (1-5)$$

Donde:

$R$  : Radio de la curva

- El margen de reserva complementaria, para tener en cuenta las dificultades de maniobrabilidad, especialmente aquellas causadas por el hecho de que el buque no responde inmediatamente y consecuentemente, el práctico debe anticipar la maniobra.

Este margen será mucho más importante cuando:

- El radio es corto,
- El ángulo de cambio de rumbo es grande,
- La intensidad de corriente y viento es alta.

Los extremos de zonas que tienen diferentes anchos, deben ser unidos por líneas rectas; la alteración del ancho no debe exceder los 10 m en un tramo de 100 m.

En un canal de doble vía el paso de los buques no es peligroso si la distancia de separación es al menos dos veces la manga del buque más grande, pero debe ser tomado en cuenta la limitada exactitud en la maniobra de pasada.

En el estado actual del conocimiento, el ancho recomendado anteriormente para un canal de un sólo sentido debe ser aumentado 3-5 veces la manga del buque más grande, más, el efecto de deriva debido a la corriente y/o el viento (La eslora del buque más grande  $\times$  seno del ángulo máximo de deriva  $\beta$ ).

Cuando estas disposiciones no se pueden cumplir, el tráfico para grandes buques en ambos sentidos simultáneos no debería ser permitido. Si la intensidad de tráfico es alta o el tráfico cruzado no puede ser excluido, tiene que ser tomado en cuenta el riesgo de accidentes o fallas, aún más en el caso de los canales en un sólo sentido.

Deben ser provistas las posibilidades de evacuación del canal o anchos adicionales, para evitar detener el tráfico durante mucho tiempo.

Un servicio de vigilancia del tráfico será del máximo interés. Se recomienda que nuevos estudios en maniobras de pasada, particularmente en la práctica, se lleven a efecto para confirmar y apoyar las indicaciones anteriores.

#### **1.2.1.14 ÁREA DE MANIOBRABILIDAD**

El área maniobrabilidad comprende:

- El área necesaria para permitir a los buques reducir la velocidad,
- El área necesaria para el giro.

Generalmente estas áreas de agua están protegidas.

La profundidad de las áreas de maniobrabilidad debe ser definida tomando en cuenta las recomendaciones dadas en el apartado 1.2.1.13.1, teniendo en cuenta que:

- El movimiento debido al oleaje puede ser despreciado si las aguas están protegida,

- El squat, debido a la velocidad es igualmente despreciado.

El área de agua necesaria para reducir la velocidad del buque incluye:

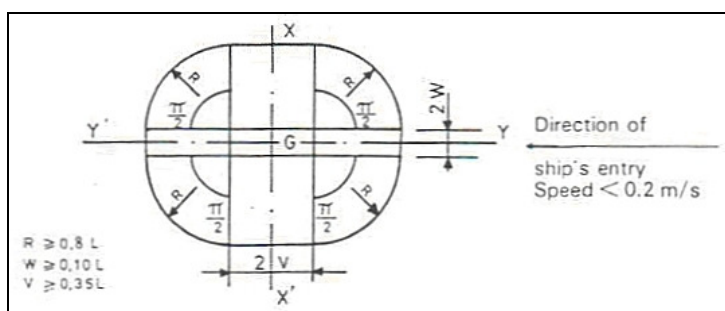
- Un área para disminuir la velocidad en la cual la velocidad del buque se reduce aproximadamente a unos tres nudos y donde son preparadas las amarras,
- Un área de parada donde la velocidad se reduce a cero, el buque comienza el atraque con la ayuda de remolcadores.

La longitud del área de agua necesaria es igual a la distancia de parada de los buques, teniendo en mente su velocidad en el canal de acceso, más un margen.

El ancho del área de agua debe tomar en cuenta la deriva durante la maniobra de parada debido en particular a la propulsión dando atrás con buques de una sola hélice.

Cuando en el extremo de un canal afectado por oleaje transversal, un buque entra a un área de aguas tranquilas, el ancho debe ser modificado para tener en cuenta los cambios de rumbos a los cuales el buque es sometido, la proa deja de estar sometida a la acción del oleaje, mientras la popa se sigue viendo afectada.

**Figura 1.2.1-22: Dimensiones de las áreas de maniobrabilidad**



Fuente: International Commission for the reception of large ship

Las maniobras de parada preferentemente deben ser llevadas a cabo al resguardo de las corrientes, o si es posible con el buque enfrentando la corriente. Si esto no es posible, al menos el área de agua necesaria para efectuar la detención debe ser protegida de las corrientes cruzadas significativas y es recomendable que la componente transversal y la componente longitudinal viniendo desde la popa no debería exceder de 0,15 m/s cada una.

Bajo condiciones normales la forma y dimensiones del área de agua para el movimiento de los buques y remolcadores durante la maniobra de giro están definidas en la Figura 1.2.1-22, de acuerdo a la eslora y características del buque bajo consideración.

En la Figura 1.2.1-22 X'X y Y'Y muestran respectivamente el ejes simétrico del área de giro y V y W las componentes a lo largo de estos dos ejes de las máximas distancias alcanzadas en comparación con G por el centro del buque, suponiendo estar inmóvil antes de la maniobra de giro. En la mayoría casos, el centro G del área de giro está situado en el rumbo teórico del buque, en el punto donde la velocidad del buque normalmente debería ser inferior a 0,2 m/s.

En tales casos, si es posible para el buque con la asistencia de remolcadores mantener su rumbo teórico y si el centro del área de giro es efectivamente marcada, se puede considerar  $W < 0,10 L$  y  $V < 0,35 L$ .

Para todos los propósitos prácticos, el área requerida es un círculo de giro con un diámetro igual a dos veces la eslora del buque.

Las condiciones normales mencionadas anteriormente son:

- El buque esta asistido por remolcadores en número y potencia adecuados (1),
- La corriente es inferior a 0,10 m/s y si el giro del buque es en calados de lastre, el viento será inferior a 10 m/s (2).

Si las condiciones con respecto a remolcadores expresadas en (1) no se cumplen por cualquier motivo, el eje de giro deberá se determinado por un círculo de un diámetro no menor que tres veces la eslora del buque, para permitir su giro por sus propios medios.

Si las condiciones con respecto a corrientes expresadas en (2) no se cumplen, el área necesaria para el movimiento del buque y remolcadores durante la maniobra de giro

debería ser determinadas a partir de las recomendaciones precedentes y tomar en cuenta la deriva del buque durante la maniobra.

#### 1.2.1.14.1 NAVEGACIÓN Y MANIOBRABILIDAD

Las recomendaciones anteriores sobre la profundidad del canal, el esquema de las líneas de aproximación, ancho del canal y áreas de maniobrabilidad se remiten al equipamiento técnico común por los cuales debería estar generalmente disponible la información ambiental y los datos sobre la posición del buque y su comportamiento. Este equipamiento es:

Ayudas a la Navegación (sistemas abordo),

- Girocompás
- Ecosonda
- Radiogoniómetro y otros sistemas de receptores de radio posicionamiento.
- Radares de navegación.
- VHF

Ayudas a la navegación (sistemas basados en tierra):

- Señalización Marítima, por ejemplo, boyas de señalización de canales, enfilaciones, luces de todo tipo, etc. (refs. Documentación Técnica IALA).
- Enlaces radiotelefónicos tierra a buque. La experiencia ha mostrado que el uso general de la radio VHF con canales reservados para la comunicación entre los buques y centros operacionales de puertos contribuyen en gran medida a la seguridad y la rapidez del tráfico.
- Los radares de control que monitorean las condiciones del tráfico en la aproximación a los puertos. La información compleja de situaciones de tráfico



obtenidas desde las estaciones de radares a lo largo de los canales o en los puertos permite:

- La vigilancia del tráfico.
- La orientación de tráfico, si es necesaria.
- Advertir a capitanes y prácticos de peligros inminentes.
- Información sobre la situación del buque desde tierra.
- Varios sistemas para determinación de radio posición.

La experiencia muestra que las condiciones bajo las cuales los grandes buques tienen que ser recibidos no son siempre satisfactorias y lejos de ser óptimas.

La consideración predominante es aplicar el equipamiento de navegación de acuerdo a las situaciones de navegación que prevalecen.

El Capítulo 2.1.4.3 Del International Commission for the reception of large ship (PIANC Boletín 35 Vol. I / 1980), comprende un resumen de las situaciones de navegación y una sinopsis del equipamiento, indicando cómo los diferentes sistemas pueden satisfacer las requerimientos de las diferentes situaciones.

El mejoramiento sería posible si las balizas claras e inequívocas y los sistemas de posicionamiento precisos, ajustados a las situaciones de navegación, pueden ser empleadas, y establecido el equipamiento tanto a bordo como en tierra al nivel correspondiente.

La posición exacta de trazado y la ejecución de maniobras mejora la seguridad de la navegación en canales y por tanto la seguridad de los buques y las vidas de las personas a bordo, junto con evitar las condiciones que pueden causar contaminación.

Mayor precisión en la navegación de canales y la previsión de anticipar el desarrollo de las maniobras también revelaría la posibilidad de reducir las dimensiones de canales y áreas de maniobrabilidad con un margen de seguridad permanente, especialmente cuando las condiciones hidrográficas y/o meteorológicas influyen en la trayectoria del buque.

#### 1.2.1.14.2 AYUDAS A LA NAVEGACIÓN

- El esquema mejorado y la precisión del posicionamiento de las boyas de señalización del canal.
- Exactitud de las luces de enfilamiento diurnas y nocturnas para largos tramos.
- Introducción general de VHF.
- Red de radares con alta precisión para producir una más exacta localización por radar.
- Sistemas cooperativos de determinación para radio posición para determinar la posición del buque dentro de pocos metros con referencia al eje de la ruta, desde las cuales eventualmente puede ser obtenidas tres de las más valiosas piezas de información: la velocidad real, sus componentes y la tasa de rotación.
- Información para prácticos y capitanes, preferentemente instrumental, de las condiciones hidrográficas y/o meteorológicas presentes e inusuales, que se encuentran durante el tránsito por el canal.
- Mucho de esto puede mejor ser llevado a cabo al ser concentra en centros de supervisión de la navegación.

Ayudas para la navegación:

- Radar con equipamiento anticolidión.
- Ecosondas indicando el espacio libre bajo la quilla en las aguas poco profundas.
- Registros de tipo Sonar Doppler indicando la velocidad real y sus componentes de través a proa y popa, con la precisión que se requiere a las bajas a las cuales los grandes buques navegan en canales y áreas de maniobrabilidad.
- Indicadores de la tasa de rotación.
- Sistemas radiales de gobierno permitiendo al buque seguir el radio de las curvas en lugar de alterar el rumbo con giros repentinos.
- Equipo VHF, preferiblemente con llamada selectiva.

La eficiencia de las modernas ayudas de navegación está conectada con la reacción humana a la información de la instrumentación del buque y su correcta interpretación. La capacidad del manejo del buque de capitanes y prácticos depende de su formación y experiencia, el nivel de formación debe ser establecido muy alto. Todas aquellas personas involucradas en el manejo de los grandes buques deberían asistir a periódicos cursos de actualización.

## 1.2.2 CONDICIONES NATURALES

Para las condiciones naturales existen diferentes recomendaciones que describen los aspectos a considerar, como criterios de diseño para la operación en obras marítimas y criterios operacionales de los buques que ocuparan las diferentes infraestructuras portuarias.

Entre otras, se encuentran las recomendaciones de obras marítimas del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de España<sup>3</sup>; las recomendaciones de la Asociación Internacional de Navegación<sup>4</sup>.

A pesar que en este apartado de condiciones naturales se presentan dos fuentes para determinar las acciones externas sobre el buque, éstas no deben mezclarse en atención a que pueden tener bases o criterios de diseño diferentes, lo que puede producir distorsiones o errores en los resultados.

Tener presente que al analizar las acciones externas sobre el buque, en Chile, la energía asociada a olas de largo período en las áreas abiertas al océano o en aguas semi protegidas, de acuerdo al nivel de agitación que se alcanza en su interior, han generado en la zona central, eventos de varada de buques en la costa, tanto cuando se encontraban fondeados a la gira, como, cuando han ido saliendo de puerto en condiciones de fuerte viento y mar gruesa.

Por otra parte, en la zona Austral de Chile se presentan habitualmente eventos de viento muy fuerte, que generan olas de corto período y mediana altura, que produjeron la

<sup>3</sup> ROM 3.1-99 Proyecto de la Configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación. Parte 4. Acciones Externas Sobre el Buque. Puertos del Estado. España. 2000.

<sup>4</sup> Criterios para los movimientos de buques amarrados en puertos. Guía Práctica. PIANC.1995. (Asociación Internacional de Navegación – Permanent International Association of Navigation Congresses).

desaparición de un muelle, golpeado por un buque de mediano tamaño, muy inferior al de diseño.

Esto hace recomendable una correcta evaluación de los criterios de diseño que el consultor debe aplicar, haciendo un análisis lo más documentado posible de la zona de proyecto y una adecuada evaluación operacional tomando en consideración los posibles riesgos para la maniobrabilidad de los diferentes tipos y tamaños de buques, considerados en el diseño.

La presentación de la metodología empleada a continuación servirá de guía para que el consultor pueda efectuar sus análisis.

### 1.2.2.1 ACCIONES EXTERNAS SOBRE EL BUQUE<sup>5</sup>

Los cálculos de requerimiento de potencia de remolcadores se desarrollarán considerando que estos deberán equilibrar la resultante (fuerzas y momentos) de las cargas sobre el buque correspondientes a la acción de los vientos, oleaje y corrientes que se hayan establecido como condiciones límites de operación para la maniobra que se considere, siguiendo los criterios que se establecen en este capítulo. Sobre las cargas así obtenidas se aplicará un coeficiente de seguridad de valor de 1,25 (Fuente: ROM 3.1-99 Proyecto de la Configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación. Parte 4. Acciones Externas Sobre el Buque. Puertos del Estado. España. 2000). 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 en relación con la dirección de marcha avante de cada remolcador que se considere.

### 1.2.2.2 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

---

<sup>5</sup> ROM 3.1-99 Proyecto de la Configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación. Parte 4. Acciones Externas Sobre el Buque. Puertos del Estado. España. 2000.

marcadamente en la acción del timón y de las hélices en marcha adelante y modifica las leyes de las evoluciones con el buque en marcha atrás.

La acción del viento uniforme se esquematiza en la 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 cuál 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, algunos de los cuales podrá ser necesarios tomar en consideración para determinar los sobre calados del buque debidos a la actuación del viento.

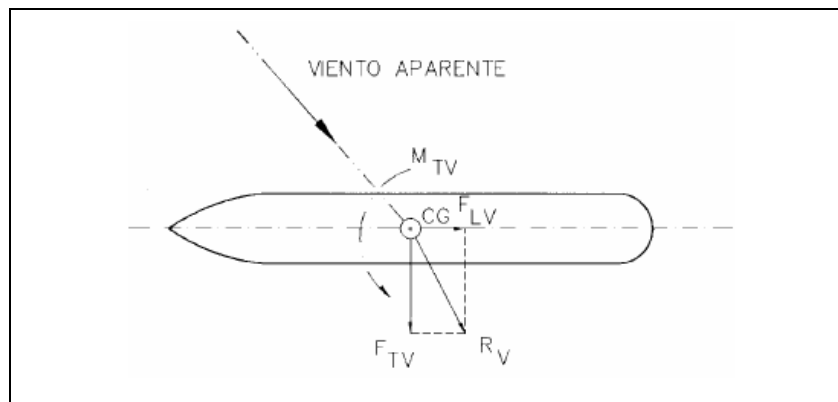
El efecto de la acción del viento tenderá a llevar al buque en conjunto a sotavento, con una forma de abatimiento que dependerá de la fuerza resultante  $R_v$  y del sistema de fuerzas que equilibren a ésta. En el caso de un buque amarrado la acción del viento será resistida por amarras y defensas. En 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, 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 superestructura 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 garete, con arrancada avante y con arrancada atrás.

**Figura 1.2.2-1: Acción del viento sobre un buque**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 4

### 1.2.2.2.1 POSICIÓN DE EQUILIBRIO CON BUQUE PARADO

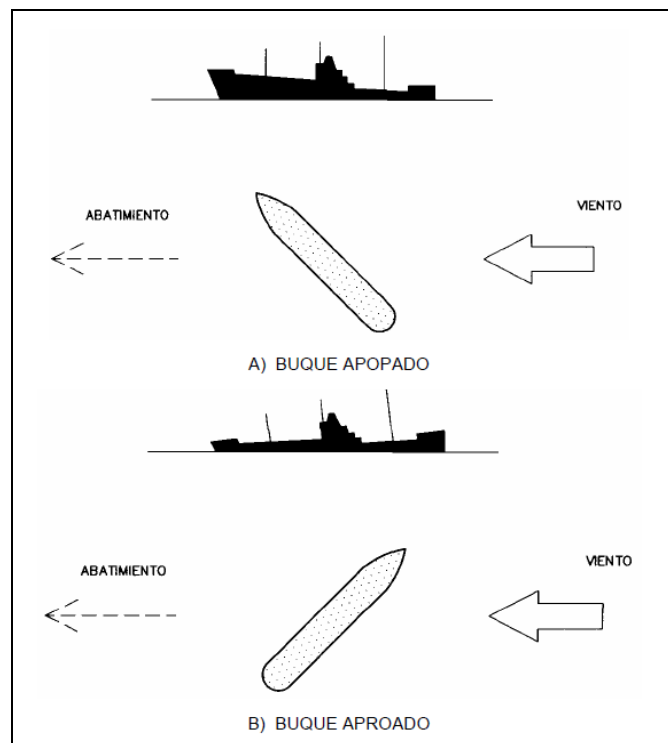
La forma en que el buque se presentará al viento depende principalmente de la distribución de la superestructura, de la forma de la carena y de la diferencia entre los calados a proa y a popa.

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 Figura 1.2.2-2). 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 Figura 1.2.2-3 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 Figura 1.2.2-3 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 Figura 1.2.2-3 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 1.2.2-2: Posición de equilibrio al viento con buques parados, en función del asiento**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 4

#### 1.2.2.2.2 POSICIÓN DE EQUILIBRIO CON BUQUE CON MARCHA AVANTE

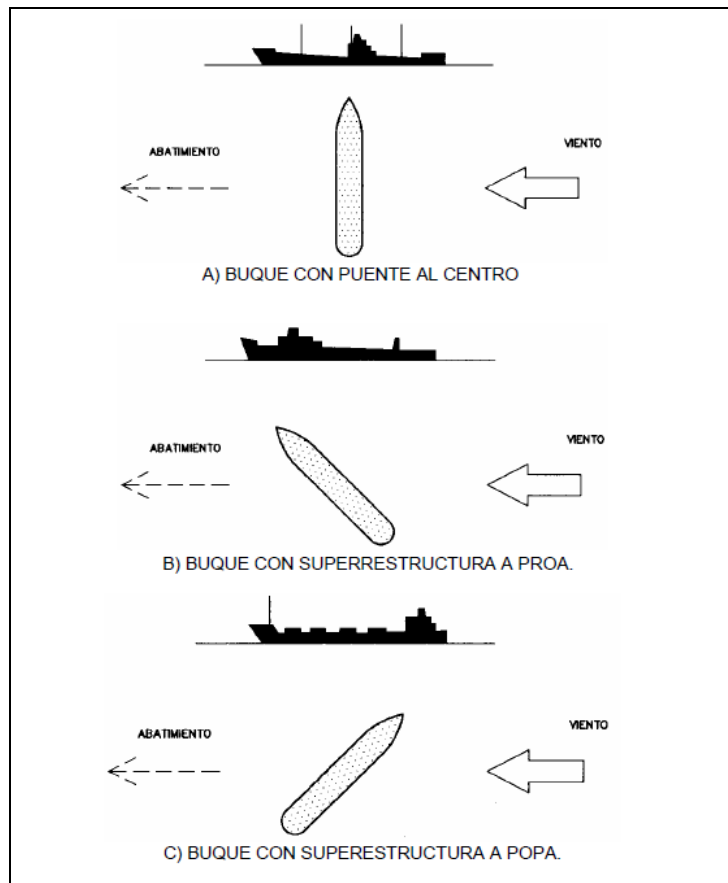
Si partiendo de la posición de equilibrio en reposo se pone máquinas avante con timón a la vía, el buque queda sometido a la acción de arribada del empuje del viento sobre la obra muerta, a la acción de orzada debida a la resistencia de la carena, y a la acción de las olas que normalmente actuarán en 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 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.

**Figura 1.2.2-3: Posición de equilibrio al viento con buques parados, en función de la súper estructura**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 4

### 1.2.2.2.3 POSICIÓN DE EQUILIBRIO CUANDO EL BUQUE LLEVA ARRANCADA ATRÁS

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.

### 1.2.2.3 ACCIÓN Y EFECTOS DE LA CORRIENTE

#### 1.2.2.3.1 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 Figura 1.2.2-4 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:

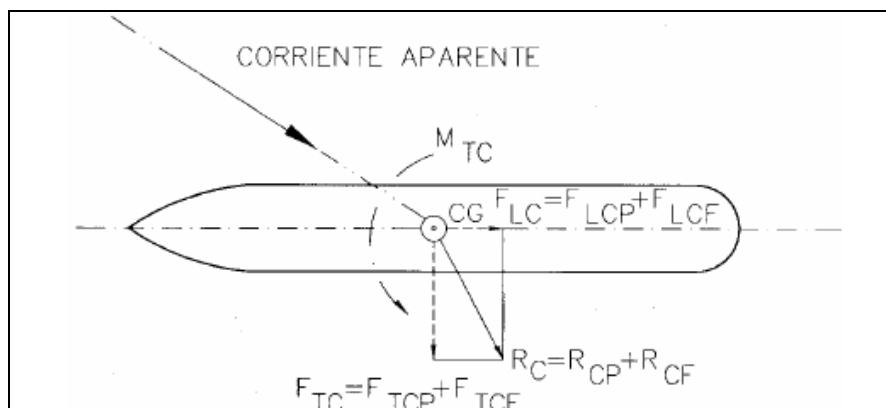
- Una componente  $F_{LC}$  en el sentido longitudinal del buque, suma de las acciones producidas por la presión y por la fricción respectivamente ( $F_{LCP} + F_{LCF}$ ).
- Una componente  $F_{TC}$  en el sentido transversal del buque, suma de las acciones producidas por la presión y por la fricción 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 sobre calados del buque debido 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, 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.

**Figura 1.2.2-4: Acción de la corriente sobre un buque**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 4

### 1.2.2.3.2 NAVEGACIÓN 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 aquella.

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 aquel una carga externa; en consecuencia, si se maniobra un buque recibiendo corriente del través, debe esperarse que sea arrastrado de costado por acción de aquella 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 aquel 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 aquel 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.

### 1.2.2.3.3 NAVEGACIÓN 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 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° se ve aumentado desproporcionadamente y se requerirá la maniobrista gran precisión y especial vigilancia durante la evolución.

#### 1.2.2.3.4 NAVEGACIÓN 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 periodos de tiempo o condiciones en las que no pueda garantizarse la seguridad de la maniobra.

#### 1.2.2.4 ACCIÓN Y EFECTOS DEL OLEAJE

En todas las maniobras que se consideran del buque es imprescindible analizar la incidencia del oleaje, ya que en cualquier área 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 semi longitud 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.

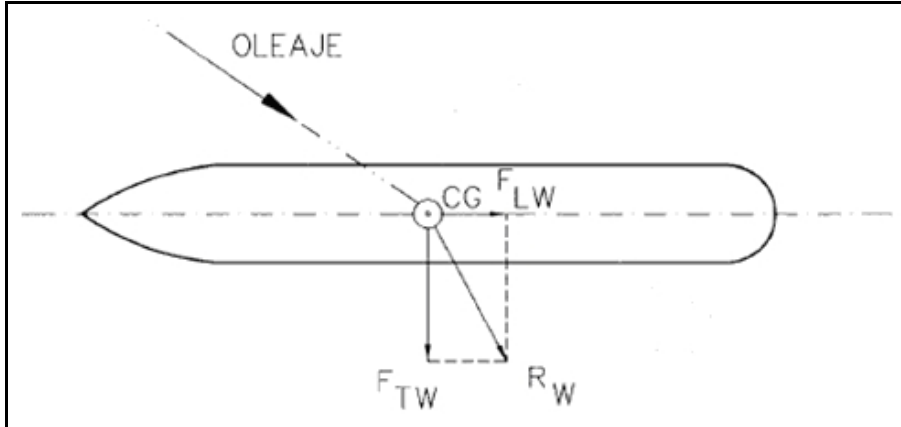
Por lo que se refiere al estudio en planta, la acción del oleaje puede simplificarse con el esquema recogido en la Figura 1.2.2-5, en la que se ha representado la fuerza horizontal resultante  $F_W$ , que en primera aproximación puede suponerse que pasa por el centro de gravedad del buque, por lo que puede descomponerse en los siguientes efectos:

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

Adicionalmente a estos dos esfuerzos principales que producen movimientos de traslaciones necesario considerar los movimientos oscilatorios producidos sobre los ejes longitudinal y transversal del buque (balance y cabeceo, respectivamente) cuyo efecto más significativo es aumentar los sobre calados del buque y las profundidades de agua necesarias para una navegación en condiciones de seguridad.



**Figura 1.2.2-5: Acción del oleaje sobre un buque**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 4

**Figura 1.2.2-6: Efectos del oleaje de través sobre los buques**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 4

#### **1.2.2.4.1 BALANCE**

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 periodo de encuentro disminuye y arribando aumenta.

Para más detalles de este tópico se sugiere consultar el capítulo 4.3.5.1 de la ROM 3.1-99.

#### **1.2.2.4.2 CABECEOS**

El periodo 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 e sincronismo y el cabeceo resultante será muy violento. Arribando y aumentando la velocidad al mismo tiempo se incrementará el periodo 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.

Para más detalles de este tópico se sugiere consultar el capítulo 4.3.5.1 de la ROM 3.1-99.

#### **1.2.2.5 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.

#### **1.2.2.6 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.

### 1.2.2.7 EFECTO DE SUCCIÓN 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

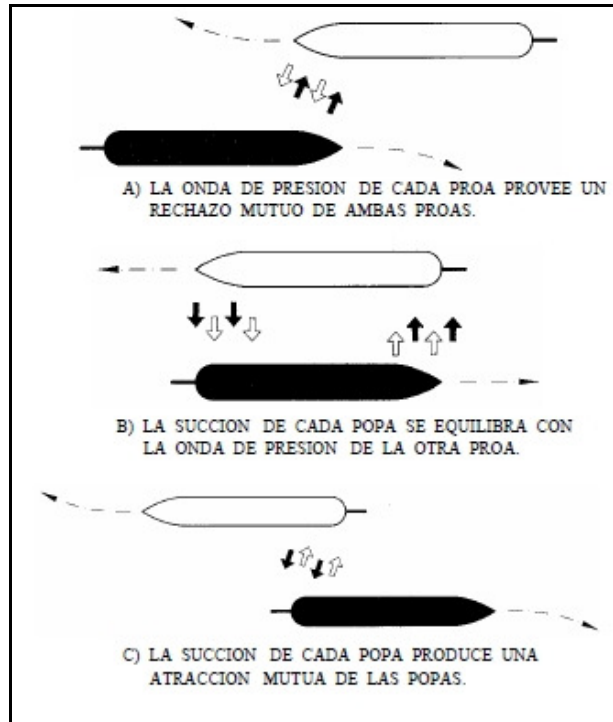
posteriormente, por lo que el maniobrista deberá estar atento para emplear las máquinas de inmediato o fondear un ancla si ello resultase necesario.

### 1.2.2.8 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 Figura 1.2.2-7 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 Figura 1.2.2-8 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.

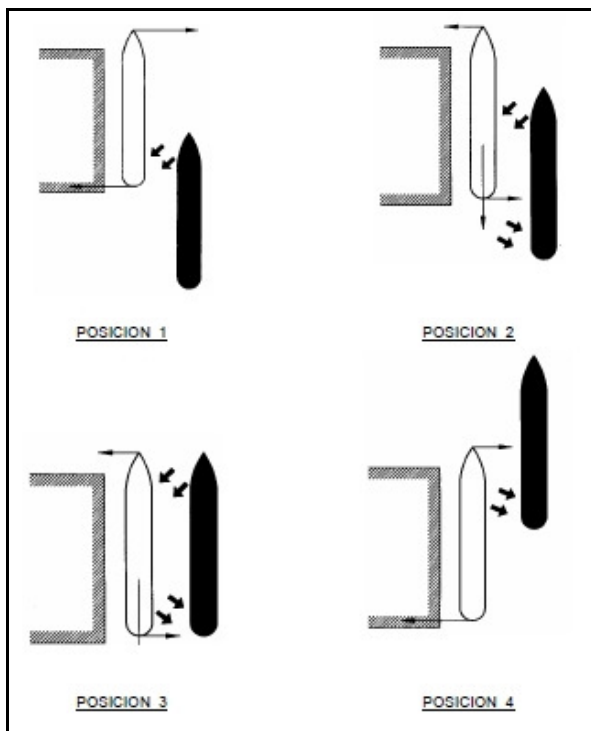
Adicionalmente habría que tomar en consideración la incidencia en cada buque del tren de olas asociado al otro barco en movimiento.

Figura 1.2.2-7: Cruces de buques



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 4

Figura 1.2.2-8: Efectos del paso de un buque sobre otro amarrado



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 4

### 1.2.2.9 EVALUACIÓN DE LAS ACCIONES EXTERNAS SOBRE EL BUQUE

#### 1.2.2.9.1 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 el centro de gravedad del buque. Se determinarán mediante la formulación consignada en la Tabla 4.1 de la Parte 4 de la ROM 3.1-99, sin perjuicio de otros métodos existentes de validez reconocida para buques específicos, como el *Report NS. 386 de The British Ship Research Association*, o los métodos publicados por OCIMF para grandes gaseros y para petroleros muy largos (VLCCs). 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.

En los casos donde se requiera mayor información respecto a este acápite se sugiere revisar el capítulo 4.8.1 de la ROM 3.1-99.

#### **1.2.2.9.2 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 auto excitadas (efecto “flutter”).

Los esfuerzos resultantes de presiones y fricciones producidos 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.

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.

En los casos donde se requiera mayor información respecto a este acápite se sugiere revisar el capítulo 4.8.2 de la ROM 3.1-99.

#### **1.2.2.9.3 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, periodo y dirección.



- Características del buque: tipología, desplazamiento, dimensiones, espacio libre bajo la quilla, etc.
- Tipo de movimiento del buque.

En los casos donde se requiera mayor información respecto a este acápite se sugiere revisar el capítulo 4.8.3 de la ROM 3.1-99.

#### **1.2.2.9.4 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.

En los casos donde se requiera mayor información respecto a este acápite se sugiere revisar el capítulo 4.8.4 de la ROM 3.1-99.

#### **1.2.2.9.5 EFECTO DE SUCCIÓN Y RECHAZO 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, para evitar la presencia de este fenómeno en el análisis en planta de las áreas de navegación y flotación.

En los casos donde se requiera mayor información respecto a este acápite se sugiere revisar el capítulo 4.8.5 de la ROM 3.1-99.

#### 1.2.2.9.6 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 excesivo 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 el Capítulo Requerimientos en planta), para evitar la presencia de este fenómeno en el análisis en planta de las áreas de navegación y flotación.

En los casos donde se requiera mayor información respecto a este acápite se sugiere revisar el capítulo 4.8.6 de la ROM 3.1-99.

#### 1.2.2.10 FUERZAS EXTERNAS DE ACUERDO A PIANC<sup>6</sup>

Un buque amarrado está sujeto a varias acciones externas. Las características geométricas y físicas del sistema defensas y amarras de la nave juega un rol fundamental en como el buque responde a estas acciones externas. El objetivo debería ser que el barco amarrado pueda resistir las fuerzas totales, evitando así daños a la nave o puesto de atraque o la rotura de los cabos de amarre.

Por lo tanto, es importante conocer el conjunto de las acciones externas sobre el buque amarrado, así como su magnitud y la importancia relativa. Las siguientes fuerzas son relevantes:

- Viento

---

<sup>6</sup> Criterios para los movimientos de buques amarrados en puertos. Una Guía Práctica. Capítulo 3 PIANC 1995. (Asociación Internacional de Navegación – Permanent International Association of Navigation Congresses).

- Corriente
- Olas
- Resonancia causada por fenómenos de ondas largas.
- Marea astronómica
- Barcos que pasan
- Operaciones de carga y descarga.

En adelante se describirá la influencia de estas acciones.

#### 1.2.2.10.1 VIENTO

El efecto del viento se puede descomponer en una acción estática (viento constante o lenta variación de la intensidad) y una acción dinámica (viento arrachado, ráfagas violentas y la dirección cambiante).

La fuerza total del viento estática puede ser descrita por la fórmula:

$$F = C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot P_u \cdot u^2 \cdot A \quad (1-6)$$

Donde:

$C_d$  : Coeficiente de arrastre.

$P_u$  : Masa específica del aire, kg/m<sup>3</sup>.

$u$  : Velocidad del viento, m/s.

$A$  : Área del buque sometida al viento, m<sup>2</sup>.

Es importante observar que la fuerza del viento es proporcional al cuadrado de la velocidad del viento. El efecto del viento es muy considerable para los buques con una superestructura de gran tamaño o de carga en cubierta, tales como los buques tanque en lastre y los buques portacontenedores.

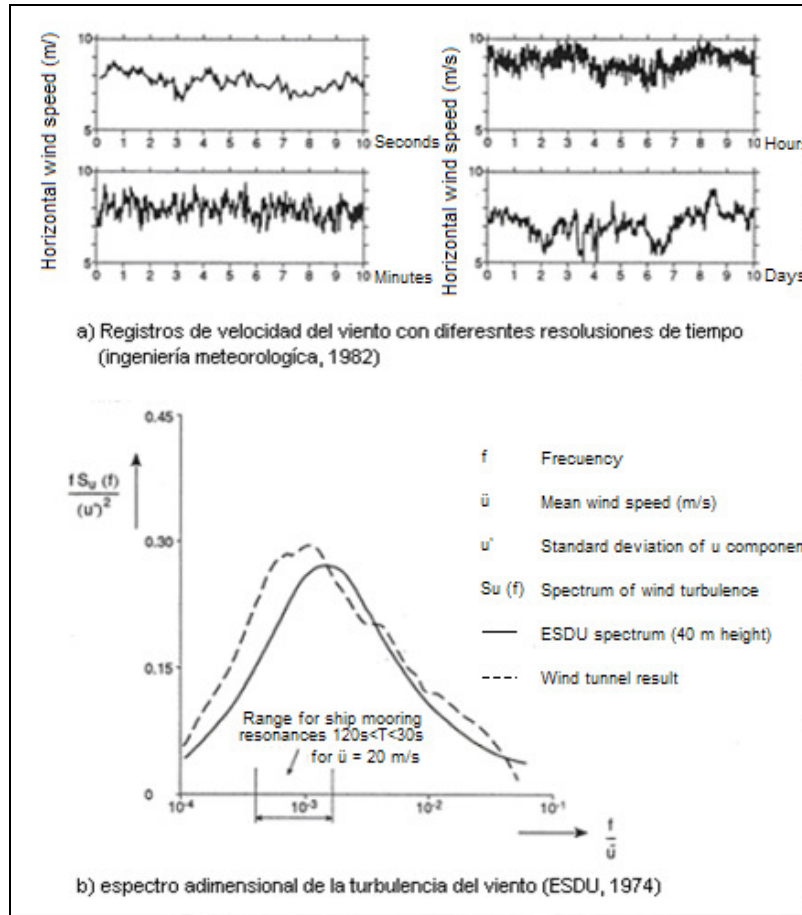
Para el cálculo de la fuerza de un viento constante, se pueden utilizar los métodos tales como los de la Asociación Británica de Investigación sobre Buques (British Ship Research Association, BSRA, 1967, 1969, 1971, 1978) o las del Foro Marítimo Internacional de Compañías Petroleras (Oil Companies Marine Forum, OCIMF, 1977). Asimismo, las fórmulas de Isherwood (Isherwood, 1972) se pueden aplicar para determinar los componentes de la fuerza y momento resultante en un buque concreto

Cuando se trata de vientos dinámicos es importante darse cuenta de que muchas frecuencias están representadas en las variaciones de velocidad del viento. La Figura 1.2.2-9 a) muestra historias de tiempo de la velocidad del viento para una serie de diferentes resoluciones de tiempo. La Figura 1.2.2-9 b) muestra un ejemplo de un espectro típico de viento y el rango típico de frecuencias (30 – 60 s) de un buque atracado. Se puede observar que, para una velocidad media del viento de 20 m/s, las frecuencias naturales de los buques están cerca del pico del espectro de viento, que indica que existe un riesgo de movimientos inducidos dinámicamente. La temática de vientos, en especial referente a lo expuesto en el presente acápite se encuentra desarrollado en la publicación “Criteria for movements of moored ships in harbours” de PIANC.

El efecto del viento sobre un buque amarrado no siempre es perjudicial, porque cuando sopla hacia el muelle, empuja el barco hacia las defensas que actúan de la misma manera como la pretensión de las líneas de amarra y esto está causando un aumento de fricción en la defensa.

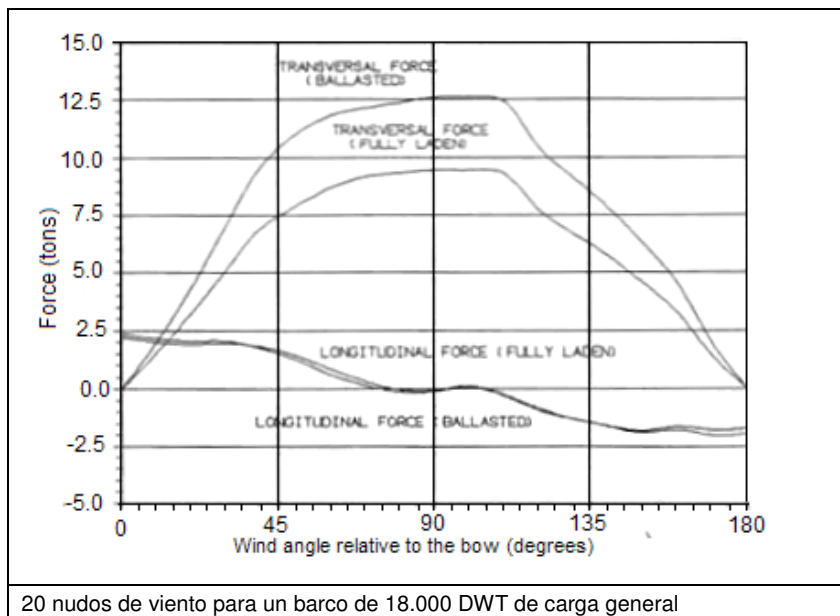
La Figura 1.2.2-10 muestra como ejemplo la fuerza del viento en un barco de carga general de 18.000 toneladas de peso muerto.

**Figura 1.2.2-9: Ejemplos de la turbulencia por viento**



Fuente: Criterios para los movimientos de buques amarrados en puertos. Guía Práctica. Capítulo 3 PIANC.1995

**Figura 1.2.2-10: Cálculo de la fuerza del viento (método Isherwood)**



Fuente: Criterios para los movimientos de buques amarrados en puertos. Guía Práctica. Capítulo 3 PIANC.1995

### 1.2.2.10.2 CORRIENTES

Las fuerzas de la corriente son causadas por la presión de arrastre. Bajo ciertas circunstancias, una corriente puede inducir oscilaciones laterales debidas a resonancia (similar a la auto-excitación que se produce en puentes colgantes). La Figura 1.2.2-11 (Gómez Pina, 1978) muestra como un ejemplo de los movimientos de guiñada, balanceo y el aumento de una barcaza amarrada en una corriente.

La resonancia se produce cuando el brazo del momento ejercido por el conjunto de las fuerzas externas (corriente, fuerzas de las amarras, las fuerzas de reacción de las defensas) con respecto al centro de gravedad del buque, incluyendo la masa añadida, alcanza un valor cercano al radio de giro (Ottesen - Hansen, 1976).

Normalmente, para los buques amarrados en una dársena del puerto la velocidad de la corriente es insignificante, mientras que para los muelles en los ríos o estuarios, las

velocidades de la corriente pueden ser considerable y causar problemas para la navegación y, en casos severos, también para los buques amarrados.

BRSA y OCIMF<sup>7</sup> proporcionan métodos para el cálculo de la fuerza y el momento ejercido por una corriente. La intensidad de su acción es proporcional a  $u^2$ , como en el caso del viento

Un parámetro esencial, además de la velocidad de la corriente, es el espacio libre bajo la quilla, definido como la distancia libre vertical desde la parte inferior de la nave al lecho de la dársena. Si la holgura bajo la quilla es pequeña, la influencia de la corriente puede aumentar hasta seis veces el valor en aguas profundas

Un ejemplo del cálculo de las fuerzas estáticas producidas por la corriente de intensidad y dirección constante se presenta en la Figura 1.2.2-12.

El diseño costa afuera de un muelle de estructura en base a pilotes con altas velocidades de corriente está significativamente influenciado por una fuerza de separación que tiende a empujar al barco amarrado lejos del muelle (Khanna, Sorensen, 1980). La desaceleración del flujo al pasar a través de los pilotes crea un levantamiento de la superficie del agua. El incremento de la columna de agua en la zona de los pilotes desvía la corriente hacia el exterior, con el resultado de que siempre habrá un flujo al través de la línea de atraque. La fuerza de separación es el resultado de la acción combinada del incremento de la columna de agua en el área de los pilotes y la corriente que fluye hacia el exterior.

La expresión de Immingham para la corriente de separación de  $0,42 V^2/2g$  corresponde a la fuerza ejercida por una corriente oblicua actuando entre  $6^\circ - 10^\circ$  al eje de la nave, con una relación profundidad de agua / calado de 1,05 a 1,20.

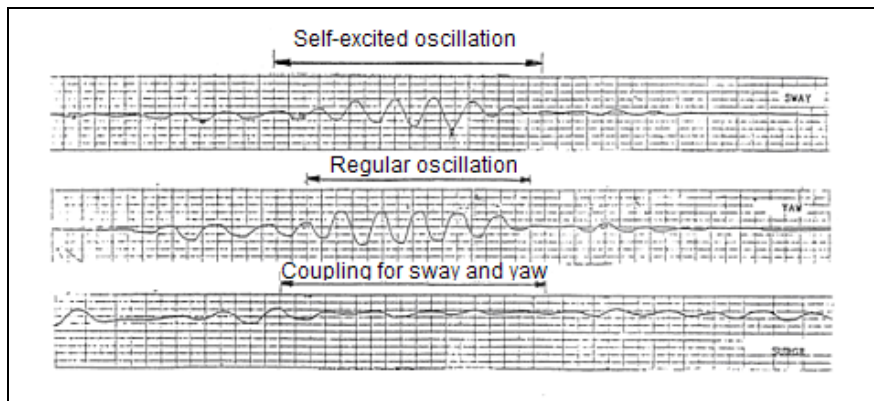
La Figura 1.2.2-13 muestra este fenómeno y la correspondiente velocidad, y los cambios del nivel del agua.

---

<sup>7</sup> BRSA: British Ship Research Association  
OCIMF: Oil Companies International Marine Forum

---

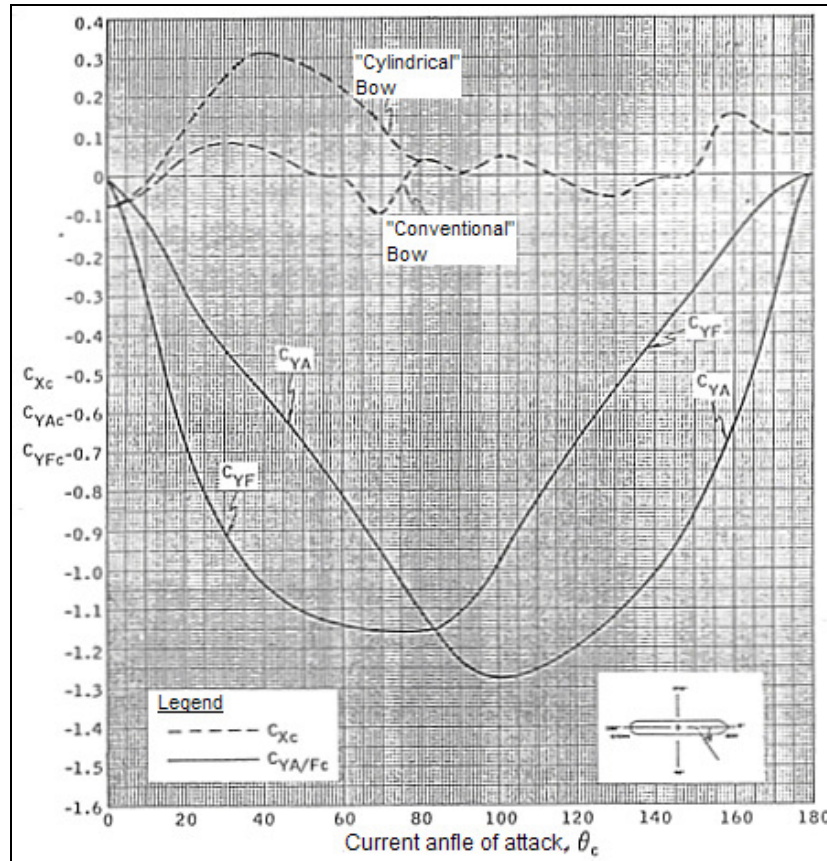
**Figura 1.2.2-11: Oscilaciones de una barcaza amarrada de forma simétrica en una zona de fuerte corriente (Gómez Pina, 1978)**



Fuente: Criterios para los movimientos de buques amarrados en puertos. Guía Práctica. Capítulo 3  
PIANC.1995

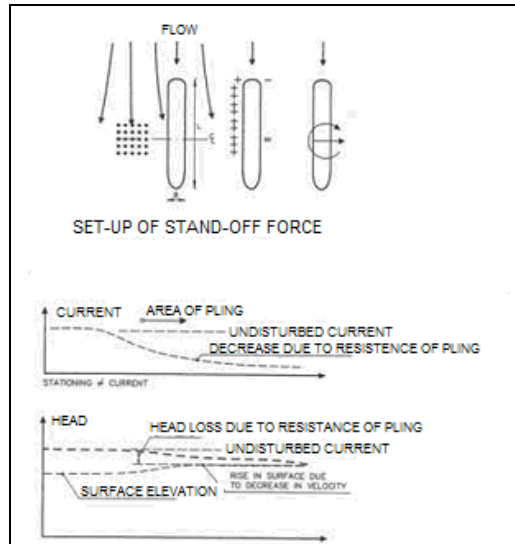


**Figura 1.2.2-12: Coeficiente fuerza corriente longitudinal y coeficiente fuerza corriente lateral en la perpendicular a proa y popa (Profundidad del agua / Calado = 1,20) (OCIMF, 1977)**



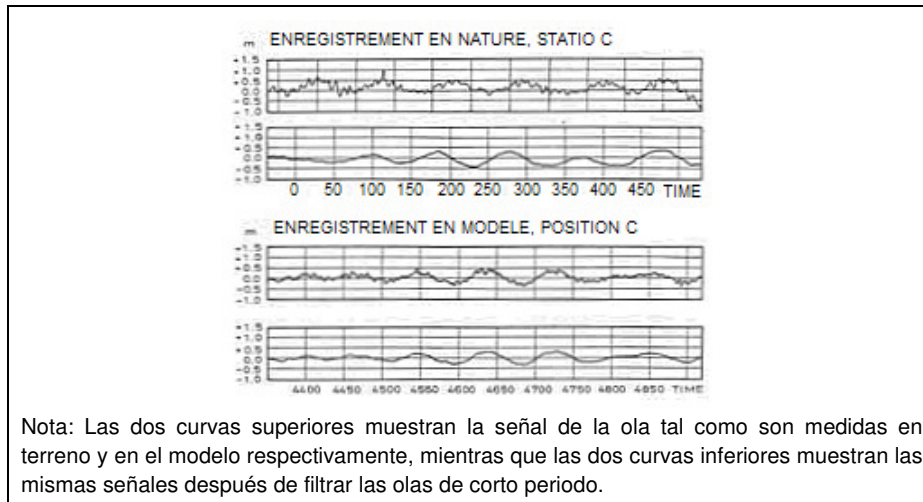
Fuente: Criterios para los movimientos de buques amarrados en puertos. Guía Práctica. Capítulo 3 PIANC. 1995

**Figura 1.2.2-13: Fuerza de levantamiento y separación (Khanna, Sorensen. 1980)**



Fuente: Criterios para los movimientos de buques amarrados en puertos. Guía Práctica. Capítulo 3 PIANC.1995

**Figura 1.2.2-14: Mediciones de Seichesen el interior del puerto de Argel en terreno y en un modelo a escala (Jensen y Warren, 1986)**



Fuente: Criterios para los movimientos de buques amarrados en puertos. Guía Práctica. Capítulo 3 PIANC.1995

### 1.2.2.10.3 OLAS

Para las ondas de mar afuera, es necesario distinguir entre las ondas de período corto (las olas de tormenta y marejada, con períodos de menos de 20 s y las olas de largo período, también conocidas, como olas de onda larga, con periodos típicamente entre 30s y 5 min y amplitudes de un orden de magnitud menores que para olas normales, típicamente de hasta 0,5 m.

Las olas de corto período son disipadas por rompeolas y otros elementos que reflejan parcialmente, en el puerto y sus alrededores (rompeolas de piedra de cantera, muros disipadores de muelle, playas, etc.) En la mayoría de los casos no constituyen un problema grave para un buque amarrado, excepto en muelles expuestos. En el caso de pequeñas embarcaciones o buques pesqueros, las olas cortas pueden constituir un problema especial que deberá ser tratado en la fase de diseño.

Los períodos de olas de tormenta y marejadas, están muy lejos de los períodos naturales de los movimientos longitudinales, transversales y guiñada de los buques medianos y grandes. Por lo tanto, los movimientos horizontales de importancia normalmente no se producen debido a las ondas cortas. Los periodos naturales de oscilación vertical, cabeceo y balanceo de los buques grandes están por lo general dentro de los límites de los períodos de onda corta y consecuentemente pueden ser excitados estos modos de movimiento.

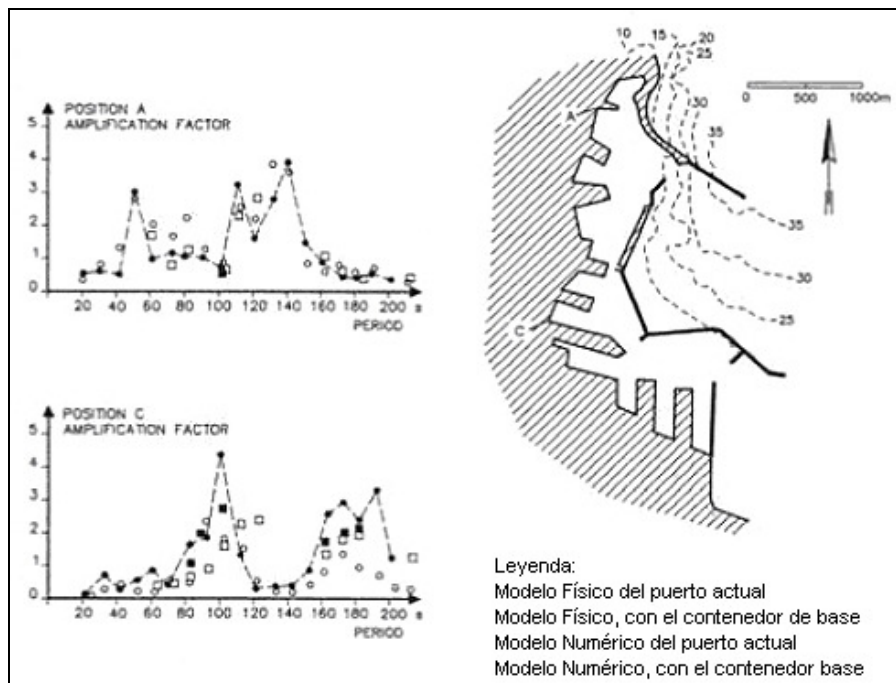
### 1.2.2.10.4 ONDAS LARGAS

Las ondas largas, en cambio, son más difíciles de disipar. Sus períodos están cerca de los períodos naturales del vaivén, deriva y balance para los buques medianos y grandes. Esto, junto con la baja amortiguación del sistema de amarre del buque, puede dar lugar a fenómenos de resonancia. La Figura 1.2.2-14 (Jensen y Warren, 1986) muestra un ejemplo de cuan severas pueden ser las ondas largas en grandes dársenas de puerto y que estas ondas pueden ser reproducidos en modelos a escala.

Tales estructuras no son muy eficaces para amortiguar las ondas largas, los problemas debido a tales ondas tendrán que ser solucionados modificando el patrón de oscilación del puerto o por cambios en el sistema de amarre para cambiar los períodos naturales de oscilación del buque amarrado

Las ondas largas en el mar abierto son muy pequeñas pero son amplificadas en las regiones costeras debido a una variedad de efectos no lineales. Al entrar en bahías cerradas o dársenas de puertos, estas ondas pueden ser largamente amplificadas y pueden desarrollarse oscilaciones naturales.

**Figura 1.2.2-15: Ampliación de onda larga en el interior del Puerto Argel (Jensen y Warren)**



Fuente: Criterios para los movimientos de buques amarrados en puertos. Guía Práctica. Capítulo 3  
PIANC.1995

La Figura 1.2.2-15 muestra como ejemplo la ampliación de ondas largas en el puerto de Argel encontradas usando tanto un modelo numérico y un modelo a escala físico (Jensen y Warren, 1986).

#### **1.2.2.10.5 MAREA ASTRONÓMICA**

La marea astronómica no ejerce fuerzas de importancia en un buque amarrado, pero provoca ascenso y descenso vertical de la embarcación. El uso de winches de tensión constante evita el ajuste manual de las amarras.

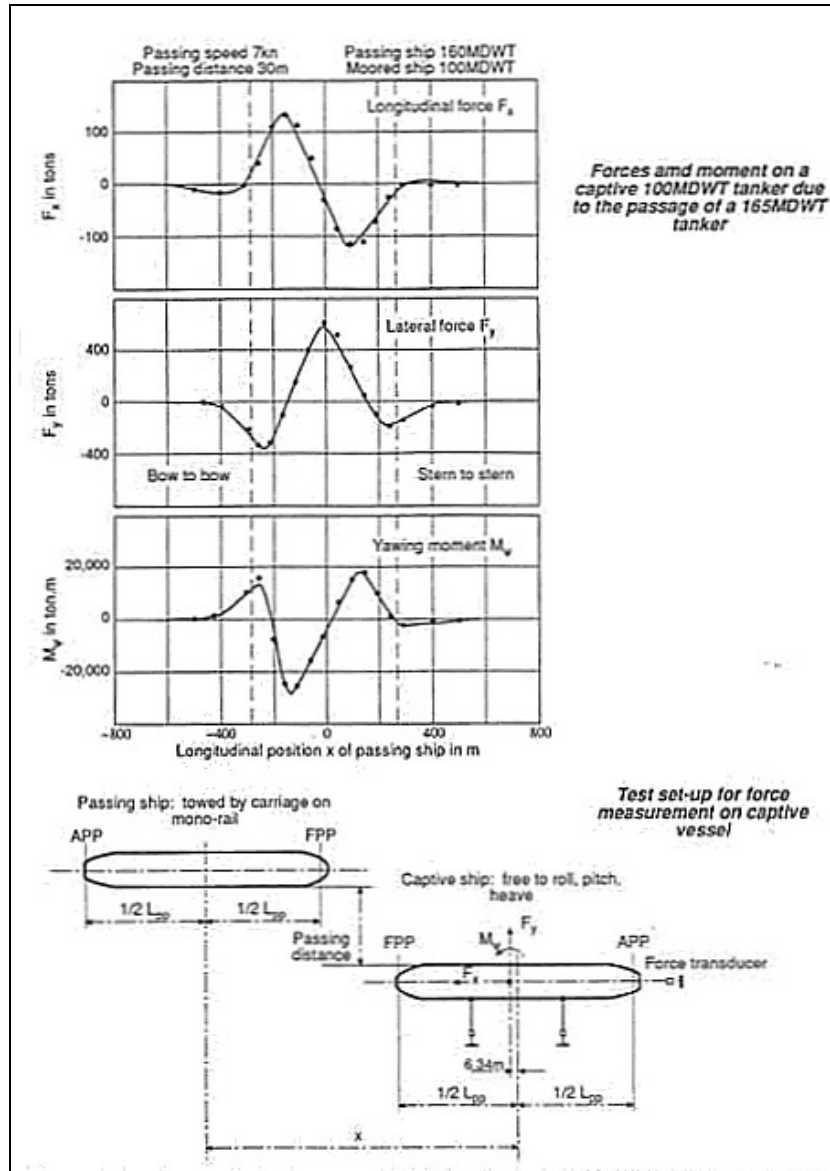
Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es la posición del buque en relación con las defensas en los diferentes niveles de marea. En la fase de diseño la posición vertical de las defensas debe tenerse en cuenta para permitir el máximo rango de niveles de agua esperados en el sitio.

#### **1.2.2.10.6 BUQUES QUE PASAN**

Un buque navegando genera una presión de pulso y un sistema de ondas. La presión de pulso es causada por el desplazamiento del agua, que tiene que fluir desde la proa a la popa, resultando en una depresión del nivel de agua al costado del buque. El sistema de ondas es el bien conocido tren de olas asociado con un buque en movimiento. Debido a los límites de velocidad en los canales de navegación, estas olas generalmente no son un problema. La presión de pulso puede, sin embargo, ser un inconveniente para los buques amarrados, cuando el buque puede ser puesto en movimiento. En caso de velocidades de maniobra relativamente altas de la embarcación que pasa, el problema puede ser muy serio.

Figura 1.2.2-16 muestra como un ejemplo de las fuerzas sobre un buque amarrado debido al efecto de presión (Remery, 1974).

**Figura 1.2.2-16: Fuerzas inducidas en un buque amarrado por un barco que pasa**



Fuente: Criterios para los movimientos de buques amarrados en puertos. Guía Práctica. Capítulo 3  
 PIANC.1995

### **1.2.2.10.7 OPERACIONES DE CARGA Y DESCARGA**

La carga y descarga de un buque resulta en un cambio de sus calados si no es compensada por un cambio en el volumen del agua de lastre. El efecto de esto es por lo tanto de una naturaleza similar como por la variación del nivel de la marea y se debe considerar en el diseño.

## **1.2.3 CONDICIONES DE ABRIGO**

### **1.2.3.1 AGUAS ABIERTAS**

Instalaciones portuarias que se encuentran sin protección costera ya sea natural o artificial y que son afectadas directamente por las condiciones marítimas reinantes y predominantes.

### **1.2.3.2 AGUAS SEMI ABRIGADAS**

Instalaciones portuarias con protección costera ya sea natural o artificial, cuyas aguas cumplen eventualmente con los criterios de aguas abrigadas, en ellos se encuentran varios puertos de la costa chilena.

### **1.2.3.3 AGUAS ABRIGADAS<sup>8</sup>**

La determinación de la altura de umbral de las olas para los trabajos de la manipulación de la carga en la comprobación del rendimiento en relación con la quietud del puerto debe llevarse a cabo adecuadamente en función del tipo y las dimensiones del buque de diseño, las características de manipulación de la carga, y la dirección y periodo de las olas consideradas.

Para determinación de la altura de las olas umbrales para manipulación de la cargas, en casos donde no hay peligro de problemas de manipulación de cargas causadas por los

---

<sup>8</sup> Technical Standards For Port And Harbour Facilities In Japan .OCDI 1991

movimientos del buque de diseño debido al oleaje, u olas de largo período, los valores mostrados en Tabla 1.2.3-1 se puede utilizar como referencia.

**Tabla 1.2.3-1: Valores de referencia de altura de olas umbrales para el trabajo de manipulación de carga no afectada por marejadas u olas de largo periodo**

Tipo de barco	Umbral de altura de olas para los trabajos de carga ( $H^{1/3}$ ), m
Embarcaciones de recreo	0,3
Barco Mediano/Grande	0,5
Barco Grande	0,7 – 1,5

Nota: Aquí, las pequeñas embarcaciones significan buques generalmente de < 500 GT. Las cuales principalmente usan las dársenas para embarcaciones menores, los buques muy grandes significa generalmente buques de  $\geq 50.000$  GT. Las cuales principalmente usan duques de alba de gran tamaño o muelles de mar abierto, y los buques medianos significa otros buques entre las pequeñas embarcaciones y los buques muy grandes.

Fuente: Standard for Port and Harbour Facilities in Japan, OCDI 1991

De acuerdo al manual de diseño 26.1 “Harbors”<sup>9</sup> la configuración del puerto debe proveer adecuada protección del oleaje en la zona interior de las dársenas para las amarras y atraque de buques. Valores límites de altura de ola en el interior de las dársenas deben incluir consideraciones a la relación entre eslora y largo de onda. Para grandes buque y condiciones de olas de tormentas no resonantes, un criterio de diseño preliminar sería de 4 pies de altura de ola (1,2 m) en el caso de pequeñas embarcaciones la altura de ola limite será de 2 pies (0,6 m).

<sup>9</sup> Design Manual 26.1. “Harbors”. NAVFAC DM-26.1. Department of the Navy. Julio 1981.



## 1.3 RAMPAS

### 1.3.1 INTRODUCCIÓN

El tráfico de transbordadores (Ro/Ro) con carga de rodados y pasajeros se desarrolla en Chile principalmente en la zona Sur desde Puerto Montt a Punta Arenas y en la zona Central con buques especiales para transportes de vehículos de importación (PCC, Pure Car Carrier).

La infraestructura usada para estos diferentes tipos de buques es, en el caso del Sur de Chile del tipo Rampas y en la Zona Central del tipo muelle no especializado.

Las Rampas usadas pueden ser del tipo:

- Un nivel de pendiente.
- De doble pendiente.
- Varios niveles de pendiente.
- Pontón flotante.

La rampa de un nivel de pendiente es común en la conexión de diferentes puntos de la geografía sureña y ha sido usada en lugares donde la gradiente de profundidad no es pronunciada.

**Figura 1.3.1-1: Rampa de una pendiente (Caleta Gonzalo)**



Fuente: Archivo propia

La rampa de doble pendiente ha sido usada en aquellos lugares donde la gradiente de profundidad es alta, permitiendo el atraque lateral de las naves.

**Figura 1.3.1-2: Rampa de doble pendiente (Chacao)**



Fuente: Archivo propia

La rampa de varios niveles de pendiente se utiliza en lugares de una gran variación de altura de mareas y la cantidad de niveles dependerá de la amplitud de la marea.

**Figura 1.3.1-3: Rampa de varios niveles (Pargua)**



Fuente: Archivo propia

La longitud de la rampa dependerá de la amplitud de la marea.

### **1.3.2 TIPOS DE TRANSBORDADORES**

A continuación se presentan las características técnicas que poseen las naves que operan en diferentes rutas de la zona sur, en términos de, entre otros, los siguientes aspectos principales:

- Dimensiones generales.
- Tonelaje
- Capacidad de máquina.
- Sistemas de propulsión principal y adicionales.
- Hélices laterales.
- Capacidad de pasajeros.

- Capacidad de vehículos y remolques.
- Tipo y tamaño de rampa de la nave.
- Configuración de casco y defensas.
- Equipamiento de ayudas a la navegación.
- Instalaciones para el tratamiento de aguas servidas.
- Instalaciones para el manejo de la basura.

**Tabla 1.3.2-1: Dimensiones Generales**

<b>Nave</b>	<b>Eslora máxima, m</b>	<b>Manga máxima, m</b>	<b>Calado m</b>	<b>Puntal m</b>	<b>Tonelaje de Registro TRG</b>
Don Juan	62,0	12,4	1,9	2,8	387
Alonso de Ercilla	62,0	12,4	1,9	2,8	397
Gobernador Figueroa	43,4	12,0	1,8	2,75	221,33
Cai -Cai	46,0	10,46	1,65	2,18	185,55
Trauco	30,56	9,7	1,2	1,65	126,61
Llacolén	54,0	10,3	1,5	2,2	167,25
Bertina	54,0	13,47	2,1	3,0	535
Mercedes	51,1	12,0	1,72	3,0	359
Adriana B	51,1	12,0	2,4	3,0	330
Tehuelche	43,6	10,3	1,73	2,2	187,6
Quellonina	24,6	8,3	1,2	2,0	48,4
Poseidón II	32,33	9,2	1,54	2,05	145
Pincoya	49,0	10,90	1,5	2,3	253,02
Alejandrina	74,2	15,40	1,7	2,5	950,72
Puerto Edén	113,5	19,2	4,5	12,6	6792
Magallanes	123	21	4,8	10,2	9350

Fuente: Archivo propio

**Tabla 1.3.2-2: Maquina**

Nave	Tipo	Nº	Potencia	Propulsión adicional
Don Juan	ADSL Schottel	4 × 365	1.460 HP	-
Alonso de Ercilla	ADSL Schottel	4 × 368,6	1.474,4 HP	-
Gobernador Figueroa	ADSL Schottel	2 × 258	516 HP	1 × 160 HP
Cai -Cai	ADSL Schottel	2 × 740	1.480 HP	1 × 150 HP
Trauco	ADSL Schottel	2 × 185	370 HP	1 × 150 HP
Llacolén	ADSL Schottel	4 × 208	832 HP	-
Bertina	ADSL Schottel	1 × 671	671 HP	-
Mercedes	ADSL Schottel	2 × 300	600 HP	-
Adriana B	ADSL Schottel	4	1.200 HP	-
Tehuelche	ADSL Schottel	3 × 218	654 HP	-
Quellonina	Diesel Scania	2 × 168,5	337 HP	-
Poseidón II	Diesel	-	-	-

Fuente: Archivo propio

**Tabla 1.3.2-3: Capacidades y equipamiento**

Nave	Vehículos	Portalón	Aguas	Basura
Don Juan	120 ml	6 × 8 m	Sí	Sí
Alonso de Ercilla	120 ml	6 × 8 m	Sí	Sí
Gobernador Figueroa	100 ml	4 × 8 m	Sí	No
Cai -Cai	80 ml	4 × 6 m	Sí	No
Trauco	60 ml	4 × 6 m	Sí	No
Llacolén	110 ml	5 × 8 m	Sí	No
Bertina	170 ml	6 × 10 m	Sí	Sí
Mercedes	120 ml	6 × 8 m	Sí	No
Adriana B	120 ml	6 × 8 m	Sí	No
Tehuelche	80 ml	5 × 8 m	Sí	No
Quellonina	45 ml	4 × 6 m	No	No
Poseidón II	60 ml	5 × 7 m	No	No

Fuente: Archivo propio

**Tabla 1.3.2-4: Ayudas a la navegación**

Nave	Radar	Radio	VHF	Ecosonda	Anemómetros m	GPS
Don Juan	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Alonso de Ercilla	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Gobernador Figueroa	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Cai – Cai	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
Trauco	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
Llacolén	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
Bertina	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Mercedes	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Adriana B	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Tehuelche	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
Quellonina	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
Poseidón II	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No

Fuente: Archivo propio

**Figura 1.3.2-1: Foto Transbordador operando en rampa Puelche**



Fuente: Elaboración propia

### 1.3.2.1 MAQUINARIA

El número y la potencia de los motores y propulsores principales son fundamentales para la maniobra segura en zonas poco profundas.

Los transbordadores más modernos están generalmente equipados con 4 motores principales (2 propulsores a proa y 2 a popa, del tipo Schottel o azimutales), los más antiguos o más pequeños cuentan a lo menos con dos propulsores a popa, lo que les otorga condiciones de maniobrabilidad muy buenas.

En zonas poco profundas la relación potencia / resistencia aerodinámica para las hélices transversales es crítica en términos de maniobrabilidad y uso de remolcadores.



### 1.3.2.2 DEFENSAS

Algunos transbordadores cuentan con defensas de casco a la altura de la cubierta principal las que pueden crear problemas para el atraque.

El tamaño de las defensas de casco en la mayoría de los transbordadores oscila entre el 20 cm y 50 cm. Su propósito es proteger el costado del buque, pero pueden ser una fuente de daños para la estructura del muelle porque pueden montarse encima o por debajo de las defensas del muelle durante el atraque o cuando esté atracado.

### 1.3.3 ÁREAS DE MANIOBRA Y PARÁMETROS OPERACIONALES

Se puede considerar en los planos de layout correspondientes, un área mínima de seguridad para maniobras alrededor de las instalaciones de a lo menos 5 esloras de la máxima nave de diseño, con el objeto de permitir el libre desplazamiento de dos embarcaciones, tanto en su acceso / salida como para la maniobrabilidad propia de las operaciones de atraque / desatraque. Por otra parte, para las maniobras en general se considera adecuado para el giro de las naves cuando tienen a lo menos 3 esloras de diámetro.

La definición específica para cada rampa, sobre canales de entrada, áreas de maniobras, de fondeo y otros, debe efectuarse de acuerdo a lo especificado por la resolución DGTM y MM ORD. N° 12.600 / 373 / VRS. Con fecha 28 de octubre de 2002, sobre la base, entre otros, de mediciones de terreno de los efectos de vientos, corrientes y oleaje en cada sector, y de los tipos y dimensiones de naves que efectivamente operarán, por lo que se estima recomendable la realización de estos estudios en forma paralela al desarrollo del proyecto de ingeniería.

La maniobrabilidad de los transbordadores, es superior al común de las naves de carga, por el tipo de propulsión que tienen, lo que permitiría disminuir el área de maniobra necesaria, pero, en atención a que pueden operar en sectores con corrientes cruzadas, lo que los obliga a entrar al área de maniobra a mayor velocidad que la normal, es preferible mantener un resguardo más conservador.

Los parámetros de seguridad para la realización de maniobras son:

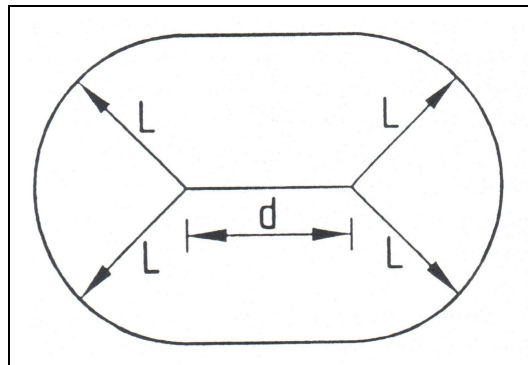
Marea, resguardo bajo la quilla (JKC), velocidad de atraque, viento operacional, corriente operacional, oleaje operacional, señalización marítima para maniobrabilidad nocturna.

---



El diseño de las rampas se realiza para quedar operativas con la nave de diseño en cualquier condición de marea, pero debido a embancamientos u otras razones, la profundidad puede disminuir de modo que la profundidad sea menor a la necesaria para la realización de las maniobras en condiciones seguras, aplicándose inmediatamente el concepto de resguardo bajo la quilla, el que es mandatorio.

Figura 1.3.3-1: Área de giro



Fuente: Port Facilities for Ferries. Practical Guide, PIANC

El comité N° IV ICORELS de PIANC. Entregó criterios de diseño para los canales de entrada, áreas de maniobra y círculos de evolución o giro.

- Para el ancho total del canal con una vía de tráfico, PIANC recomienda 5 mangas para condiciones calmas, y 7 mangas para condiciones moderadas.
- El diámetro del área de giro  $D = 2L +$  el resguardo para la deriva,  $d$  (Figura 1.3.3-1).

## 1.3.4 PROFUNDIDAD Y UKC PARA RAMPAS

### 1.3.4.1 ESCORA A LA CARGA Y DESCARGA DEL BUQUE

El calado máximo está relacionado al buque completamente cargado flotando en calados parejos. Sin embargo, cuando se está atracando, cargando o descargando, pueden ocurrir

movimientos de escora lo que puede aumentar el calado máximo. La escora también tiene una influencia sobre los niveles extremos de los sistemas de defensa y pasarelas de pasajeros. Generalmente se asume que el movimiento de escora es de máximo 2º, lo que debe ser considerado en la determinación de la profundidad necesaria.

#### **1.3.4.2 RESGUARDO BAJO LA QUILLA EN AGUAS POCO PROFUNDAS (UKC)**

La mínima altura libre bajo la quilla está relacionada con los factores siguientes:

- Acción de las olas / marejada.
- Las condiciones de suelo en el fondo marino.
- Tipo de protección del fondo marino.
- Riesgo de erosión.
- Sedimentación
- Tolerancia del dragado.

En general la altura libre bajo la quilla puede ser de un 10% del calado de la nave de diseño, pero se deberá considerar las condiciones climáticas, oceanográficas y operacionales de la nave.

En todo caso, las recomendaciones de PIANC indican que bajo ninguna circunstancia la altura libre bajo la quilla será menor de 0,5 m.

#### **1.3.5 DISPOSITIVOS DE AMARRA**

Los dispositivos de amarra de los transbordadores en las rampas, por medio de los cuales se fijará la posición del portalón en los diferentes niveles de la marea, deben dejar libre la superficie donde se apoyan los portales.

Se instalarán alejados del sector de apoyo, por los costados de las superficies de las rampas o bajo el nivel de la superficie de apoyo de los portalones.

### **1.3.6 ILUMINACIÓN DE RAMPAS**

El sistema de iluminación de las rampas debe instalarse dejando libre de obstáculos, la zona de flujo del tránsito. La iluminación del área de trabajo no debe deslumbrar las operaciones de maniobra de los buques.

### **1.3.7 OPERACIÓN DE RAMPAS**

Las condiciones de operación de las rampas se establecen en una resolución de la Autoridad Marítima, tomando en consideración los estudios de las condiciones climatológicas y oceanográficas del lugar; los antecedentes técnicos del proyecto y del estudio de maniobrabilidad, todos ellos aprobados para la construcción de las instalaciones, por los organismos correspondientes, como lo señala la reglamentación vigente.

La Autoridad Marítima representada a nivel nacional por la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DGTM y MM) y a nivel local por las Gobernaciones Marítimas y Capitanías de Puerto, tienen por mandato de la Ley de Navegación, DL N° 2.222 de 21 de mayo de 1978 y sus modificaciones, la tuición del territorio marítimo y en materias de seguridad, de acuerdo al art. 91, le corresponde exclusivamente determinar las medidas de seguridad que convenga adoptar.

Por otra parte, en el DFL (M.) N° 292 de 25 de julio de 1953 y sus modificaciones, Ley Orgánica de la DGTM y MM, se establece en el art. 3° letras a y h que:

“Corresponde a la DGTM y MM:

- a) Velar por la seguridad de la navegación y por la protección de la vida humana en el mar, controlando el cumplimiento de las disposiciones nacionales e internacionales sobre estas materias; atender la señalización de las costas y rutas marítimas en el litoral de la república; y atender las telecomunicaciones de la marina mercante.

- b) Velar por el cumplimiento de las medidas de seguridad de las naves en los puertos de la república y de las faenas marítimas, fluviales y lacustres.”

Además, el D.S. (M.) N° 660 de 14 de junio de 1988, Reglamento sobre concesiones marítimas, establece entre otras materias, los estudios que deben ser presentados y aprobados para el otorgamiento de concesiones marítimas, en el caso de obras portuarias. En su art. 16 establece que:

“Para los terminales marítimos, muelles, malecones, astilleros mayores u otras obras marítimas de envergadura similar, dentro del plazo que al efecto se le fije deberán presentar a la autoridad marítima un estudio y planos constructivos sobre vientos, mareas, corrientes, oleaje, sondaje y detalles del fondo de mar del lugar donde se instalarán dichas obras, los cuales previamente deben haber sido revisados y autorizados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.”

“Además tratándose de estas mismas concesiones, la autoridad marítima podrá exigir al concesionario que presente, dentro del plazo que al efecto se le fije, un estudio sobre la maniobrabilidad de las naves que ocupen la construcción, teniendo el concesionario la obligación de proporcionar los antecedentes técnicos que sean requeridos para su revisión por la Dirección.”

Por último, dentro de las atribuciones que le otorga la legislación antes citada, la DGTM y MM, emitió con fecha 28 de octubre de 2002 la resolución ORD. N° 12.600 / 373 / VRS, (ver Capítulo 2) donde dispone el procedimiento para la tramitación de estudios de maniobrabilidad para naves mayores y dimensionamiento de los elementos de fondeo para instalaciones portuarias. En sus anexos la resolución establece el ámbito de aplicación y los contenidos mínimos que deben contener dichos estudios.

Al respecto dicha normativa establece:

“La exigencia de estudio de maniobrabilidad y estudio de dimensionamiento de elementos de fondeo, en adelante estudios técnicos, será aplicable sólo a las instalaciones portuarias en las cuales se efectúen maniobras de naves mayores (50 TRG hacia arriba). Para instalaciones portuarias para naves menores (de menos de 50 TRG), la exigencia de los estudios técnicos será resuelto localmente por el Capitán de Puerto.”

“Los Estudios Técnicos serán requeridos por la Autoridad Marítima en las siguientes circunstancias:”

- a) “Ante la construcción de nuevas instalaciones portuarias”
- b) “Ante la modificación de instalaciones portuarias existentes”.
- c) “Cuando se solicite variar las condiciones operacionales establecidas por resolución de la Autoridad Marítima local”.
- d) “Cuando la maniobra de una nave afecte las áreas de maniobrabilidad de frentes de atraque adyacentes”.
- e) “Cuando ocurran accidentes que afecten a naves y/o instalaciones portuarias producto de limitaciones de maniobrabilidad; falta de efectividad de los elementos de amarre o sujeción de la nave a las instalaciones portuarias o falta de fuerza de tracción de los remolcadores para asistir a la maniobra”.

#### 1.3.7.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS

En circunstancias normales los grandes transbordadores entran en el puerto sin la ayuda de remolcadores. La mayoría de los transbordadores están bien equipados con propulsores de proa. En condiciones meteorológicas adversas el capitán puede ser asistido por remolcadores. El capitán del buque o el Capitán de puerto deciden si la asistencia es requerida. En los distintos puertos la asistencia de remolcadores depende de la fuerza del viento y la velocidad del buque.

En aguas más resguardadas y en las rampas de lugares aislados, los transbordadores medianos y chicos no utilizan remolcadores.

El viento, la corriente y el oleaje operacional dependen del lugar y se determinará en el estudio de maniobrabilidad que debe ser presentado a la aprobación de la DIRECTEMAR, según requerimientos establecidos en Resolución que se entrega en la Sección 2, Anexos, del presente Capítulo.

### 1.3.7.2 GEOMETRÍA DE RAMPA

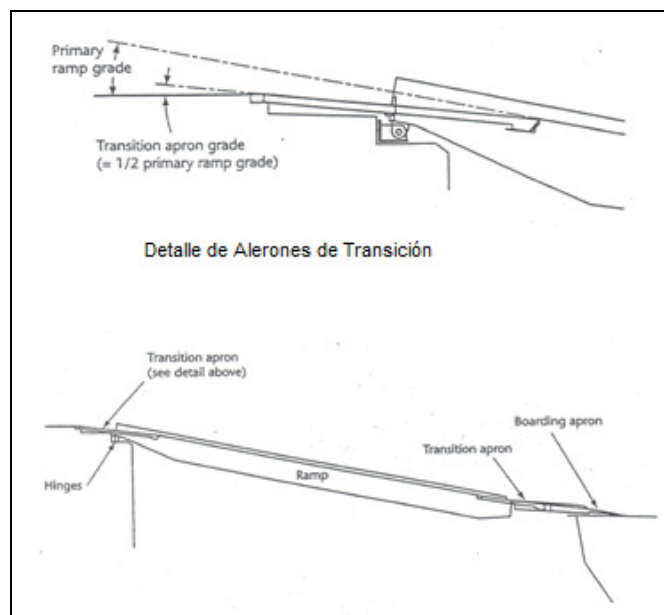
En general la operación de rampas en la zona sur se realiza utilizando las variaciones de la marea, para lo cual se diseñan las pendientes adecuadas para las amplitudes de la marea del lugar.

Los transbordadores apoyan sus portalones sobre las rampas tratando de mantener los ángulos adecuados para evitar que los encuentros rampa/portalón sean inadecuados.

Los principales parámetros geométricos que influyen en los resguardos adecuados para el tránsito en la rampa se muestran a continuación:

El perfil de embarque consiste generalmente en planos sucesivos, entre el buque y tierra, permitiendo un acceso de embarque seguro (ver Figura 1.3.7-1).

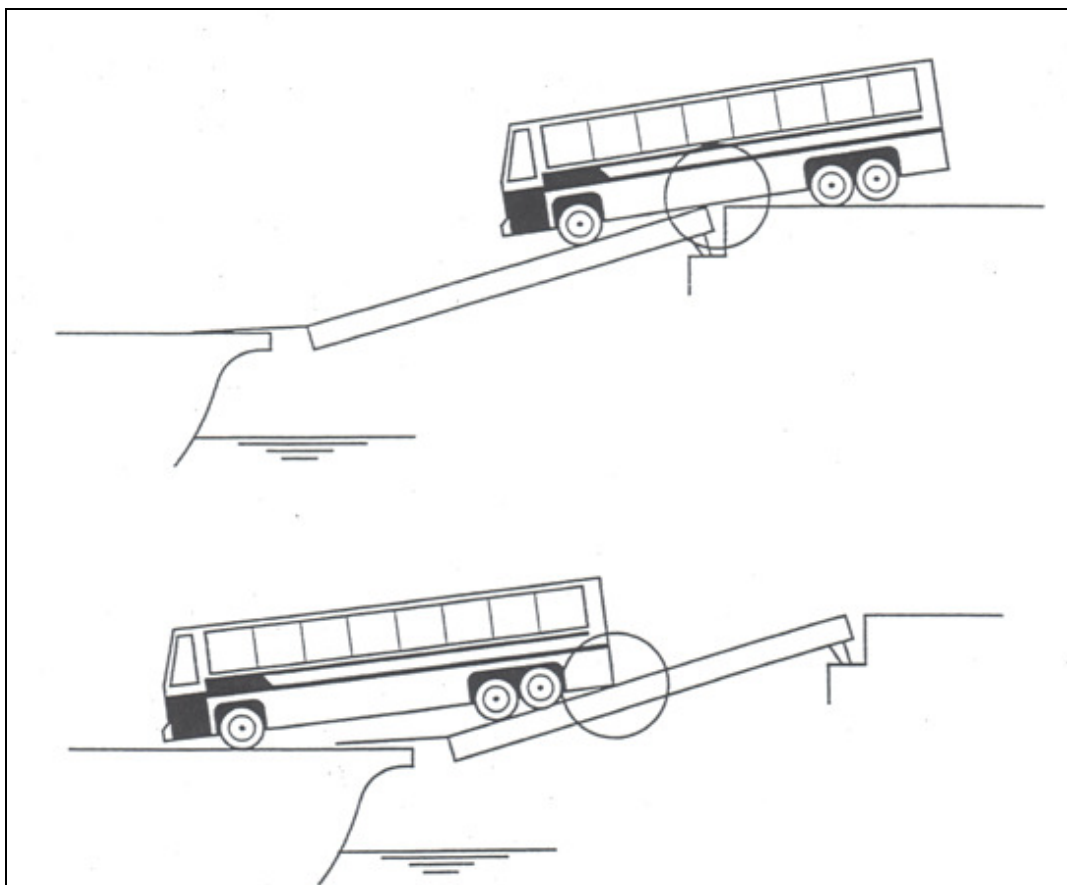
**Figura 1.3.7-1: Distribución típica de componentes de rampa y alerones en una instalación de embarque para transbordadores**



Fuente: Ferry Boarding Facilities. National Standard of Canadá

El perfil de embarque deberá estar libre de cualquier obstáculo probable de causar colisiones al vehículo en la rampa. El diseñador deberá tener especial cuidado en las uniones con proyecciones. El diseño de los vehículos (distancia entre ejes, espacio libre bajo el vehículo, viga del chasis) restringe el valor permitido de los puntos de quiebre de las pendientes (ver Figura 1.3.7-2).

**Figura 1.3.7-2: Resguardos a los obstáculos para vehículos bajo – Gradiente excesiva cambia en puntos de transición**



Fuente: Ferry Boarding Facilities. National Standard of Canadá

Se prestará especial atención a los puntos de contacto entre vehículos y rampas, como se muestra en las Figura 1.3.7-1 a Figura 1.3.7-4. Los problemas de cambio de la gradiente son especialmente críticos en las mareas extremas.

La experiencia ha demostrado que un diseño geométrico con una gradiente de menos de 11% y un cambio de gradiente de menos de 6% entre los planos sucesivos no presenta problemas de tránsito para la gran mayoría de los parachoques de los vehículos.

#### **1.3.7.2.1 ALERONES DE TRANSICIÓN**

Los alerones de transición se utilizan para proporcionar una transición más uniforme entre la orilla y la rampa principal o la rampa principal y el alerón de embarque.

Cuando el vehículo se encuentra con la mitad de su longitud en uno u otro lado de la rampa o el eje de rotación de la plataforma de embarque, la pendiente de la plataforma de transición corresponderá a la mitad de la pendiente de la estructura primaria (ver Figura 1.3.7-1).

#### **1.3.7.2.2 ALERÓN DE EMBARQUE**

Cuando es necesario un alerón de embarque para acceder al buque, puede ser agregado a la rampa o al buque. El motor del alerón de embarque deberá operar independientemente de la rampa principal. Descansará libremente, ya sea en el buque o en la rampa, de modo que el sistema de elevación no se encuentre activo durante el embarque. La longitud del alerón de embarque debe ser tal que el cambio de gradiente entre el alerón y el buque o la rampa principal no exceda el límite recomendado de 6%. El cambio en los niveles del buque durante el embarque y la salida deben ser considerados en la determinación de la longitud de la rampa. El alerón y la superficie de apoyo estarán traslapadas por lo menos 1 m.

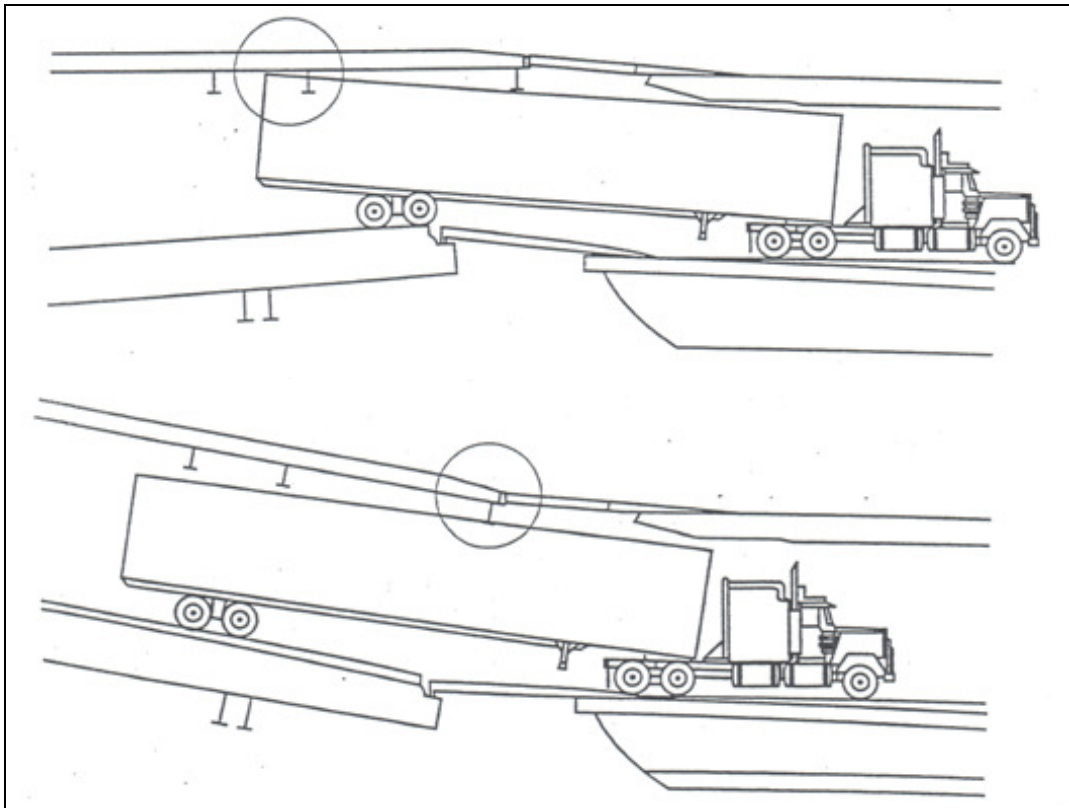
Cuando un buque está equipado con su propio alerón de embarque, el cual esta soportado, ya sea por la rampa principal o un alerón de embarque agregado a la rampa principal, se deberá tener en consideración la carga adicional.



### 1.3.7.2.3 RAMPAS DE DOS NIVELES

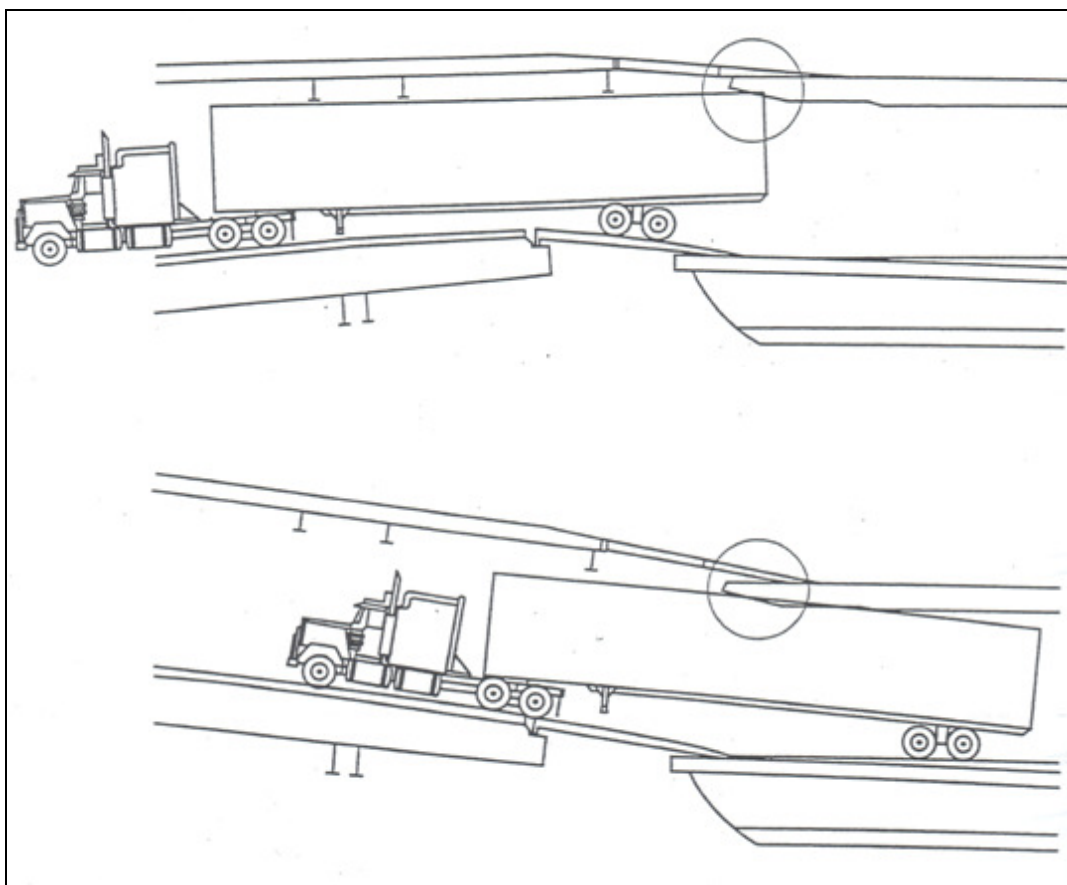
Además de satisfacer los requisitos establecidos en los incisos de los puntos anteriores, el espacio vertical libre entre los niveles de rampas de dos niveles serán adecuados para permitir el tránsito sin obstrucciones de todos los vehículos que usarán la rampa (ver Figura 1.3.7-3 y Figura 1.3.7-4).

**Figura 1.3.7-3: Obstáculos superiores en rampas de doble nivel – Espacio libre a los elementos de izado**



Fuente: Ferry Boarding Facilities. National Standard of Canadá

**Figura 1.3.7-4: Obstáculos superiores en rampas de doble nivel – Espacio libre a rampa del nivel superior**



Fuente: Ferry Boarding Facilities. National Standard of Canadá

### 1.3.7.3 CONDICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD

Se deberán analizar las condiciones de seguridad para pasajeros, tripulación, vehículos y carga, durante la estadía en el terminal y durante la navegación y se determinará la necesidad de establecer áreas para la espera de embarque con la proposición de señalética adecuada, delimitación de zonas de acceso a la nave para embarque y

desembarque, con demarcaciones de seguridad para separar de la zona de embarque o desembarque de rodados, estableciendo un procedimiento general para su ejecución.

Se deberán describir las normativas nacionales e internacionales que rigen la navegación de este tipo de transporte y los aspectos de seguridad que se deben considerar para la operación del terminal tanto para pasajeros, como para los rodados.

Se deberá analizar la normativa nacional que rige a las tripulaciones de naves transbordadoras, de acuerdo al Convenio Internacional sobre normas de formación, titulación y guardia para la gente de mar, 1978, con sus enmiendas hasta la última versión en vigencia.

Se debe establecer áreas y procedimientos para la permanencia de los pasajeros a bordo de las naves y durante la navegación.

Se debe describir los procedimientos y medidas de seguridad en el movimiento de vehículos y carga en el terminal, definiendo las zonas de espera o almacenamiento, rutas de acceso al terminal y a la zona de embarque.

Se debe definir las medidas de seguridad que se deben adoptar para el transporte de la carga, en términos de sujeción y estabilidad, de acuerdo a la ruta a que se refiera.

## 1.4 CRITERIOS DE OPERACIÓN DE NAVES

El transporte marítimo moderno requiere un tiempo mínimo de carga y descarga en puertos y terminales marítimos, un requisito a menudo restringido por el movimiento del buque en el muelle. Si los movimientos experimentados por el buque son demasiado grandes, las operaciones de manipulación de la carga serán más lentas o incluso pueden cesar y en última instancia pueden ocurrir daños al buque e instalaciones portuarias. En los últimos años los cambios en los métodos de manipulación de la carga han resultado en cambios tanto en los buques y las instalaciones portuarias, cambios que pueden tener grandes consecuencias económicas.

La Asociación Internacional de Navegación (PIANC), encargó a un grupo de trabajo especial estudiar los movimientos de los buques amarrados en los puertos con el fin de establecer nuevos criterios para los movimientos del buque en aceptables condiciones de trabajo seguras (i, e, cuando las operaciones de carga y descarga tienen que ser reducido o cuando el buque tenga que dejar el puesto de atraque). Además, el objetivo fue evaluar medidas para mejorar el trabajo seguro y las condiciones de amarra seguras. El objetivo principal en el establecimiento de criterios fue proporcionar directrices para los diseñadores de puertos y operaciones portuarias para reducir al mínimo el tiempo de inactividad en los puertos.

### 1.4.1 METODOLOGÍA

La flota mundial de buques está dividida en diversas categorías, donde cada una de ellas tiene sus propias características típicas en atención del movimiento de los buques, las operaciones de manipulación de la carga y las condiciones de amarra segura.

La división según las características del uso de las naves es la siguiente (PIANC1995):

- Pequeñas embarcaciones y embarcaciones de recreo.
- Buques de pesca.
- Buques de cabotaje y cargueros.
- Transbordadores y buques Roll on Roll off.

- Buques de carga general.
- Buques porta-contenedores.
- Buques graneleros.
- Buques petroleros.
- Buques gaseros.
- Buques de pasajeros.

Para cada categoría se tienen que tomar en consideración los siguientes aspectos:

- 1) Descripción de los buques, tamaños típicos, composición de la flota mundial, futuras tendencias y provisión de equipos de amarra a bordo (posiciones de winches y gateras, composición de las líneas de amarra: número, tipo, diámetro).
- 2) Descripción de muelles típicos y equipos para manipular la carga (como por ejemplo tipos de grúas, rampas, brazo de carga).
- 3) Descripción de los parámetros que gobiernan los movimientos del buque, operaciones de carga y descarga, eficiencia y seguridad.
- 4) Revisar y evaluar la literatura disponible, incluyendo los últimos resultados de pruebas y mediciones de prototipo.
- 5) Recomendaciones aceptables para movimientos de los buques, fuerzas en líneas de amarra, defensas de muelle en condiciones de trabajo seguro y amarra segura, teniendo en cuenta una eficiencia reducida en la manipulación de la carga en caso de mal tiempo.
- 6) Recomendaciones para mejora en la operación y eficiencia con respecto a la localización y orientación del muelle, aplicación de los criterios operacionales para el viento y el oleaje, implementación de muelles dedicados y modificaciones del sistema de amarras.

## 1.4.2 MOVIMIENTOS DE LOS BUQUES

Los movimientos de los buques amarrados pueden ser causados por varias influencias externas tales como: vientos, corrientes, oleaje, seiches, mareas, paso de buques, operaciones de manipulación de cargas.

Los movimientos de un buque amarrado a un muelle pueden ser tanto horizontales: (vaivén “surge”, deriva “sway” y guiñada “yaw”) o verticales (balance “roll”, cabeceo “pitch” y alteada “heave”). Los movimientos verticales del buque están casi independientes del sistema de amarras, pero los movimientos horizontales típicamente dependen de las condiciones de carga del buque, del sistema de amarras, por ejemplo, de la geometría y rigidez de las líneas y defensas, y el tipo de muelle.

Cuando los movimientos del barco son demasiado amplios, los límites de la seguridad de trabajo y finalmente los límites de seguridad de las amarras, son excedidos.

## 1.4.3 SISTEMAS DE AMARRE

Los sistemas de amarra para buques amarrados a muelles pueden comprender los siguientes elementos:

- Líneas de amarras conectando al barco con el muelle.
- Bolardos y bitas en la orilla. Ganchos de amarre o gancho de amarre de liberación rápida en postes de amarra y duques de alba.
- Winches o molinetes en postes de amarra y duques de alba, en conjunto con los ganchos de amarre de liberación rápida (ganchos de escape).
- Defensas entre el barco y el muelle.
- Winches de amarra y bolardos a bordo del buque.

**Tabla 1.4.3-1: Criterios de oleaje recomendados para embarcaciones pequeñas y embarcaciones de recreo**

Eslora, m	Manga / Mar de Popa		Mar de Proa	
	Período, s	Altura $H_s$ , m	Período, s	Altura $H_s$ , m
4 – 10	< 2,0	0,20	< 2,5	0,20
	2,0 – 4,0	0,10	2,5 – 4,0	0,15
	> 4,0	0,15	> 4,0	0,20
10 – 16	< 3,0	0,25	< 3,5	0,30
	3,0 – 5,0	0,15	3,5 – 5,5	0,20
	> 5,0	0,20	> 5,5	0,30
20	< 4,0	0,30	< 4,5	0,30
	4,0 – 6,0	0,15	4,5 – 7,0	0,25
	> 6,0	0,25	> 7,0	0,30

La frecuencia de ocurrencia aceptable es de uno a unas pocas veces por año

Fuente: Criterios para los movimientos de buques amarrados en puertos. Guía Práctica. Capítulo 1  
PIANC.1995

### 1.4.3.1 PEQUEÑAS EMBARCACIONES Y BOTES DE RECREO

Las pequeñas embarcaciones y botes de recreo pueden ser definidas como embarcaciones con esloras hasta de 20 m. Estas embarcaciones son particularmente sensibles a las olas de periodo corto, provenientes de las amuras, aletas y del través.

Estos sitios de atraque necesitan emplazarse en lugares protegidos para evitar daños en las embarcaciones y muelle, dando comodidad a los pasajeros a bordo.

Para el diseño de puertos para pequeñas embarcaciones y embarcaciones de recreo, se tiene que poner atención en el efecto de olas generadas por vientos locales que tienen corta longitud de fetch (distancia de generación de oleaje).

### 1.4.3.2 BUQUES DE PESCA

Los rangos para barcos pesqueros son:

- Buques pequeños de 10 hasta 100 TRG.
- Grandes buques de 3000 TRG (Pesqueros de Arrastre, de cerco y de espinel).

Estas embarcaciones están principalmente atracadas en sus puertos de origen y los sitios de atraque y sistemas de amarre cumplen con los criterios de seguridad de trabajo y también con condiciones de seguridad de amarras.

Los buques de pesca son típicamente amarrados con líneas de polipropileno contra defensas de neumáticos de camión o defensas de goma. Para la descarga del pescado se usan grúas, elevadores y bombas de succión.

Los criterios aceptables para el movimiento del buque en condiciones seguras de trabajo, se determinan por el tamaño de las escotillas y las dimensiones de las cajas y los tubos usados para la descarga.

**Tabla 1.4.3-2: Criterios recomendables para los movimientos del buque en condiciones de trabajo seguro**

Tipo de barco	Equipos para manipular carga	Vaivén m	Deriva m	Alteada m	Guiñada º	Cabeceo º	Balance º
Embarcaciones Pesqueras	Elevadores	0,15	0,15				
	Grúas	1,0	1,0	0,4	3	3	3
	Bomba de Succión	2,0	1,0				
Cargueros Cabotaje	Grúa de Nave	1,0	1,2	0,6	1	1	2
	Grúa de Muelle	1,0	1,2	0,8	2	1	3
Ferries Ro-Ro	Rampa Lateral <sup>1</sup>	0,6	0,6	0,6	1	1	2
	Rampa de muelle	0,8	0,6	0,8	1	1	4
	Puente Rampa (Linkspan)	0,4	0,6	0,8	3	2	4
	Rampa para carros ferroviarios	0,1	0,1	0,4	-	1	1



Tipo de barco	Equipos para manipular carga	Vaivén m	Deriva m	Alteada m	Guiñada º	Cabeceo º	Balance º
Carga general	-	2,0	1,5	1,0	3	2	5
Embarcaciones Porta Contenedores	100% eficiencia	1,0	0,6	0,8	1	1	3
	50% eficiencia	2,0	1,2	1,2	1,5	2	6
Graneleros	Grúa	2,0	1,0	1,0	2	2	6
	Elevadores/Capachos	1,0	0,5	1,0	2	2	2
	Cinta Transportadora	5,0	2,5		3		
Petroleros	Brazos de carga	3,0 <sup>2</sup>	3,0				
Gaseros	Brazos de carga	2,0	2,0		2	2	2

**Notas:**  
 Los movimientos se refieren a valores peak to peak (excepto para deriva; peak cero)  
<sup>1</sup> Rampas equipadas con rodillos  
<sup>2</sup> Para zonas expuestas, 5,0 m (brazos de carga normales permiten mayor movimiento)

Fuente: Criterios para los movimientos de buques amarrados en puertos. Guía Práctica. Capítulo 1 PIANC.1995

Un extenso programa de investigaciones se llevó a cabo en los países nórdicos para establecer criterios aceptables para los buques pesqueros amarrados. Los movimientos de los buques amarrados se midieron en varios puertos para varios buques siendo descargados con diferentes tipos de maquinarias. Los movimientos aceptables se determinaron en base a entrevistas con los tripulantes de los buques y los operadores de puerto (Jensen et al., 1990) y se muestran en la Tabla 1.4.3-2.

El criterio recomendado comprende los movimientos del buque así como las velocidades y son representados en la Tabla 1.4.3-3 para varios tipos y tamaños de buques. Las velocidades y los tamaños representan el impacto dinámico de un buque amarrado en un muelle y son considerados parámetros adecuados en relación con las condiciones de amarra segura.

**Tabla 1.4.3-3: Criterios de velocidades recomendados para condiciones de amarra seguras**

Tamaño del barco DWT	Vaivén m/s	Deriva m/s	Alteada m/s	Guiñada °/s	Cabeceo °/s	Balance °/s
1.000	0,6	0,6	-	2,0	-	2,0
2.000	0,4	0,4	-	1,5	-	1,5
8.000	0,3	0,3	-	1,0	-	1,0

Ese criterio es aplicable a barcos pesqueros, de navegación costera, cargueros, ferries y barcos Ro-Ro

Fuente: Criterios para los movimientos de buques amarrados en puertos. Guía Práctica. Capítulo 1 PIANC.1995

### 1.4.3.3 BUQUES DE CABOTAJE Y BUQUES DE CARGA

Los buques de cabotaje y cargueros son buques de menos de 10.000 DWT que navegan en rutas nacionales a corta distancia de la costa. Estos buques son generalmente amarrados con líneas de polipropileno contra defensas de goma.

El manejo de la carga puede ser manipulada a través de grúas en el muelle o bien con los mismos equipos de los buques. Las condiciones de trabajo seguro son determinadas por las dimensiones de las escotillas y el tamaño de la carga. Los criterios recomendados para el trabajo se muestran en la Tabla 1.4.3-2.

### 1.4.3.4 TRANSBORDADORES Y BUQUES ROLL ON ROLL OFF (RO-RO)

Los tipos de buques considerados comprenden transbordadores de autos y ferroviarios y buques de trasbordo de rodado. Estos buques son caracterizados por la operación de carga y descarga, que se realiza en forma horizontal a través de rampas o pasarelas. Las rampas pueden ser rampas de tierra, puentes de rampas (incluyendo tramos de enlace) y rampas del buque.

La principal función del sistema de amarre para estos tipos de buques es la reducción del movimiento horizontal del buque tanto como sea posible, en particular en la posición de las rampas y las pasarelas. Esto puede ser alcanzado por medio de la tensión de las líneas de amarra, a veces hasta 40 toneladas.

El criterio admisible recomendado para los movimientos del buque para condiciones de trabajo seguro también se presentan en la Tabla 1.4.3-2. Además, para rampas ferroviarias móviles y para pasarelas, las velocidades verticales no deben exceder los 0.2 m/s y las aceleraciones verticales deben ser menor a 0.5 m/s<sup>2</sup>.

Los parámetros que gobiernan las condiciones seguras de las amarras, definidas como las condiciones que limitan los daños al buque y/o muelle, es la energía cinética, la cual es caracterizada por el tamaño del buque y la velocidad. El criterio de velocidad recomendado se presenta en la Tabla 1.4.3-3.

#### 1.4.3.5 BUQUES DE CARGA GENERAL

Los buques de carga general varían típicamente desde 5.000 hasta 10.000 DWT y pueden llevar una amplia variedad de carga. Los buques están amarrados con mayor frecuencia con líneas de polipropileno, mientras que los grandes buques están equipados con amarras de nylon y / o cables de acero. En general, estos barcos son amarrados con 8 a 10 líneas.

La carga se maneja con equipos de a bordo, o grúas de muelle. Los movimientos aceptables para el buque en condiciones seguras de trabajo están determinados por el tamaño de las escotillas, tamaño de las cajas y unidades manipuladas, y por el tipo de equipo de descarga. Los criterios recomendados por el Grupo de Trabajo de PIANC, se basan en un extenso programa de investigación japonés (Ueda, 1987; Ueda y Shiraishi, 1988). Estos criterios se han establecido sobre la base de entrevistas con los operadores portuarios y de naves en distintos puertos a lo largo de la costa japonesa. Fueron aplicadas simulaciones numéricas para correlacionar velocidades identificadas del viento crítico y alturas de olas con límites aceptables de movimiento del buque. Límites provisionales fueron entonces discutidos con diversos operadores y autoridades para llegar a los criterios finales para las condiciones de trabajo que se presentan en la Tabla 1.4.3-2.

En situaciones en las que los grandes buques de carga general están expuestos a las ondas de período largo, se recomienda el uso de sistemas de amarre, con líneas suaves por ejemplo, líneas sintéticas o alambres de acero con colas de nylon y defensas blandas. Las embarcaciones más pequeñas, preferiblemente deben ser amarradas en dársenas de puerto protegidas (puertos interiores) para reducir la influencia de olas en los barcos amarrados.

### 1.4.3.6 BUQUES PORTACONTENEDORES

La flota mundial de buques portacontenedores se ha incrementado considerablemente durante las últimas décadas y comprende al día de hoy pequeños alimentadores, buques portacontenedores de segunda y tercera generación, así como buques Post Panamax, que entraron en funcionamiento recientemente.

Los buques portacontenedores son generalmente amarrados con las líneas spring de acero, para reducir los movimientos de vaivén, y líneas de amarre de polipropileno. Todas las líneas están conectadas a bolardos situados en el lado frontal del muelle. Rieles para las grúas de pórtico corren a lo largo del muelle e impiden el uso de líneas traveses en condiciones de funcionamiento.

Los contenedores son manejados por grúas de pórtico en tierra y los movimientos del buque deberán mantenerse al mínimo para ofrecer condiciones de manipulación de contenedores sin interrupción. La velocidad máxima de manipulación de los contenedores es un requisito esencial para estos barcos que navegan en apretados itinerarios.

Dos niveles de criterios de seguridad de trabajo son establecidos por el Grupo de Trabajo para esta categoría especial de buques. Un nivel representa un manejo de contenedores ininterrumpido a una tasa de eficiencia de 90 a 100%, mientras que el segundo nivel refleja una tasa de eficacia en el manejo del 50% (ver Tabla 1.4.3-2). Cabe señalar que, además de los movimientos del buque, la habilidad de los conductores de la grúa para contenedores juega un papel importante para la eficiencia total de manejo de contenedores en un puerto.

Criterios más recientes sobre la materia pueden encontrarse en la siguiente publicación de PIANC: Criteria for the (Un) Loading of Container Vessels. Report N° 115-2012.

### 1.4.3.7 GRANELEROS

Graneleros de carga seca han sido desarrollados para el transporte de cargas tales como graneles, carbón mineral, granos y fertilizantes a granel y en su mayoría en grandes cantidades. Algunos tamaños típicos de los graneleros son el tamaño Handy (30.000 a 40.000 toneladas de peso muerto), el tamaño Panamax (70.000 a 80.000 toneladas de peso muerto), y el tamaño del Cabo (120.000 a 150.000 toneladas de peso muerto).

Los graneleros son principalmente amarrados con 8 a 10 líneas sintéticas y 4 líneas spring de acero. Las amarras se afirman a los bolardos situados en el lado frontal de las paredes del muelle por las mismas razones que para los buques portacontenedores. Las operaciones de carga se realizan generalmente mediante cintas transportadoras y mangueras (granos). Para las operaciones de descarga se usan grúas, descargadores de cangilones, elevadores y aparatos de succión. Una categoría especial de graneleros son hoy en día, los llamados graneleros auto descargables.

Criterios operacionales para el manejo de carga son determinados por el riesgo que los equipos de manipulación de la carga golpeen las escotillas o el fondo de las bodegas. Esto es de particular importancia para las operaciones de descarga. Los criterios de seguridad en el trabajo de graneleros recomendados por el Grupo de Trabajo se basan en experiencia práctica de operadores portuarios y de buques (Bruun, 1987; Moes, 1992), apoyados por simulaciones numéricas (Ueda y Shiraishi, 1988). Estos criterios se presentan en la Tabla 1.4.3-2. Condiciones de amarra segura están determinadas por fuerzas aceptables en líneas de amarra y defensas (BSRA de 1969 y el OCIMF, 1978).

#### 1.4.3.8 PETROLEROS

Los petroleros se utilizan para transportar petróleo crudo y productos derivados del petróleo. Productos derivados del petróleo se transportan en buques tanques generalmente bajo 70.000 TPM, mientras que el crudo se transporta en buques tanques de gran capacidad de hasta 420.000 TPM. Los buques tanque se cargan y descargan a través del manifold localizado en la mitad del buque y cerca de la borda. El manifold es conectado a las tuberías en tierra por los brazos de carga y a veces por mangueras flexibles.

Un layout típico de muelle para un petrolero comprende duques de alba y postes de amarra y una plataforma de carga.

Los buques tanque son amarrados con líneas spring, líneas de través y (opcionalmente) líneas largas en proa y popa. Las líneas de amarra para grandes petroleros son en general alambres de acero y alambres de acero con colas de nylon. OCIMF (OCIMF, 1987) ha publicado directrices para embarcaderos y sistemas de amarre de buques petroleros, así como para el diseño y operación de los brazos de carga (OCIMF, 1980)

Los movimientos de petroleros amarrados se caracterizan por movimientos horizontales de baja frecuencia (con periodos típicos de 1 a 2 min.) causados por los efectos de ondas de largo período, y movimientos verticales de frecuencias relativamente altas con períodos que van de 5 a 20 s.

Criterios operacionales de manipulación de carga están determinados por el alcance permitido por los brazos de carga en la dirección de vaivén (longitudinal) y deriva (transversal). Otros movimientos de los petroleros están en la mayoría de los casos, dentro de la envolvente de diseño de los movimientos de los brazos de carga. Los criterios recomendados para la seguridad en el trabajo se muestran en la Tabla 1.4.3-2.

Los muelles para los grandes petroleros se encuentran generalmente en aguas profundas y en lugares más expuestos. Debe prestarse la debida atención a alinear el lugar de ataque con las condiciones de olas y corrientes predominantes. Los movimientos de los petroleros puede reducirse por medio del pretensado de los traveses a fin de mantener la fricción suficiente entre casco del buque y las defensas.

#### 1.4.3.9 GASEROS

Los buques tanque gaseros pueden variar de buques refrigerados de más de 100.000 m<sup>3</sup> para el transporte de GNL y GLP a los pequeños tanqueros de hasta 5.000 m<sup>3</sup> para el transporte de propano, butano y gases químicos en tanque de presión.

El número de buques gaseros en la flota mundial era relativamente pequeño, alrededor de 780 en 1991, pero en los últimos años ha sufrido un fuerte incremento llegando a cerca de 4000 buques, tan sólo en las naves de GNL, de los cuales actualmente la flota mundial cuenta con 371 naves, incrementando su capacidad entre 1970 y 2010 de 75 millones de m<sup>3</sup> a 150 millones de m<sup>3</sup>, de acuerdo a la información de Clarkson Register.

Muelles para tanqueros de GNL y GLP generalmente están dedicados a estos buques, mientras que muelles de buques gaseros pequeños son multi funcionales. Estos muelles y sistemas de amarra para los buques gaseros son similares a los de los petroleros. Exhaustivas guías para los muelles y la amarra de buques tanques gaseros fueron emitidas por OCIMF / SIGTTO (1986).

Los movimientos de los buques tanque gaseros amarrados están inducidos en particular por las corrientes y los efectos de viento y olas de baja frecuencia. Efectos del viento en los buques gaseros son más importantes comparados con los petroleros a causa del

franco bordo más alto y la posible presencia de tanques esféricos. Movimientos aceptables son determinados por las restricciones en los sistemas de manejo de carga (por ejemplo, los brazos de carga) y las líneas de amarre y las fuerzas en las defensas (presión del casco). Los valores recomendados para los movimientos de tanqueros se presentan en la Tabla 1.4.3-2.

Particularmente para los muelles de buques tanques petroleros y gaseros es importante establecer manuales operacionales, incluyendo, entre otros, directrices para los sistemas de amarre y operaciones seguras, así como listas de control para mejorar la seguridad de las operaciones de carga y descarga.

## **1.4.4 TIPOS DE BUQUE**

### **1.4.4.1 BUQUE DE PROYECTO<sup>10</sup>**

#### **1.4.4.1.1 DEFINICIÓN DEL BUQUE DE PROYECTO**

El Buque de Proyecto es el que se utilizará para el dimensionamiento de los accesos y Áreas de Flotación, así como la estructura de amarre y atraque. Dado que estas áreas 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 área que se analice, con objeto de asegurar que el dimensionamiento realizado permita la operación en condiciones de seguridad de cualquiera de ellos, así como los otros buques que tengan que operar en simultaneidad con ellos en tales áreas.

Para el presente acápite se analizarán dos criterios para determinar los buques de proyectos, estos son:

- Recomendación de Obras Marítimas Españolas (ROM).
- PIANC.

---

<sup>10</sup> ROM 3.1-99 Proyecto de la Configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación. Parte 3. Características de maniobrabilidad de los buques. Puertos del Estado. España 2000.

Se hace notar que, tal como se definió en el Capítulo 2 de la presente Guía los elementos que definen un área 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 área 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 áreas 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 áreas 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 ellos la condición de máximas y mínimas cargas compatibles con el uso genérico asignado a las obras proyectadas.

La utilización de las áreas de flotación con carácter excepcional por buque 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.

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

- Toneladas de Peso Muerto (TPM, DWT): Peso en toneladas métricas correspondiente a la carga útil máxima más el combustible y aceite lubricante, agua, tripulación, pasajeros y pertrechos.
- Arqueo bruto de un buque (GT): Volumen o capacidad interior total de todos los espacios cerrados del buque, determinado con las condiciones del Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de 1969, de la OMI.



Tonelaje de Registro Bruto (TRB) Volumen o capacidad interior de un buque, medido en toneladas Moorsom o toneladas de arqueo. La tonelada Moorsom equivale a 100 pies cúbicos, 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 el sistema anterior (GT), siendo en la actualidad obligatorio bajo las reglas de la OMI para todas las naves, excepto casos particulares.

- Desplazamiento ( $\Delta$ ): Peso total del buque, equivalente al peso del volumen de agua desplazada.

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<sup>11</sup>, 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 ( $\Delta$ , TPM, TRB, GT, etc.), si bien son de uso habitual, ninguno de ellos es suficiente 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 pasajes, 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 1.4.4-1, 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 1.4.4-1, podrá considerarse que el desplazamiento en rosca (peso del buque según sale del astillero sin

---

<sup>11</sup> TEU: Twenty Feet Equivalent Unit, Unidades de contenedores de 20 pies

carga, lastre o combustible) es la diferencia entre el desplazamiento a plana 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 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).

Las dimensiones y características del buque del 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 medidas de los buques deducidas de la Tabla 1.4.4-1, 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 buque dimensiones en que algunas 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.

**Tabla 1.4.4-1: Dimensiones medias de buques a plena carga**

Tonelaje de Peso Muerto (TPM)	Desplazamiento ( $\Delta$ )	Eslora Total (L)	Eslora entre perpendiculares (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	61.0	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	248,000	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	188,000	285.0	270.0	49.5	22.0	16.9	0.82
125,000	158,000	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	28.2	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 General</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

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
<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	—

- 1) La manga efectiva de flotación de los 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.
- 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.

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 3.



En el caso de que el buque de diseño venga caracterizado por el valor máximo de una de sus dimensiones geométrica (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 a 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  $\times$  manga  $\times$  calado  $\times \gamma_w$ ). 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 Tabla 1.4.4-1, 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 1.4.4-1 para el tipo de buque 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.

#### 1.4.4.2 NAVE DE DISEÑO<sup>12</sup>

La guía para el diseño de sistemas de defensas de PIANC, 2002 contiene un apéndice de dimensiones de buques, las que se muestran a continuación:

##### 1.4.4.2.1 DIMENSIONES DE BUQUES

En el diseño de las instalaciones portuarias, incluidos las defensas, las dimensiones del buque de diseño (BD) son una de las condiciones más importantes. El BD, para efectos de diseño estructural, es el buque más grande entre aquellos que se esperan que usen las instalaciones. Si el BD ha sido especificado previamente, se usarán las dimensiones de ese buque especificado. Caso contrario, las dimensiones serán calculadas por el tipo de buque y TPM (toneladas de peso muerto) / TRB (tonelaje de registro bruto) del BD.

Para este propósito, se analizarán las relaciones de dimensiones del buque y TPM / TRB.

##### 1.4.4.2.2 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

La información procesada es principalmente del registro de naves de Lloyd's para determinar las dimensiones del BD. Esta base de datos de las dimensiones de buques es una de las más confiables del mundo. El registro de naves de Lloyd's, sin embargo, no provee las áreas proyectadas al viento de los buques. Por lo tanto, El instituto de Investigación de Puertos y Bahías y la Oficina de Puertos y Bahías del Ministerio de Transporte de Japón ha recogido las áreas de viento proyectadas de los buques usando los resultados de los cuestionarios enviados a los astilleros japoneses y a la casa clasificadora de buques NKK (Nippon Kaiji Kyokai). Cabe señalar que la confiabilidad del análisis de las áreas proyectadas al viento no es tan exacta como la de las otras dimensiones del buque, porque el número de datos de áreas al viento de buques es mucho menor que aquellas de las otras dimensiones.

---

<sup>12</sup> Guidelines for the design of fenders systems: 2002. Apéndice C. PIANC (Asociación Internacional de Navegación)

---

#### 1.4.4.2.3 TIPOS DE BUQUES

Las dimensiones del buque varían según su tipo. El tipo de BD se debe determinar con la mayor precisión posible. Para este acápite, el BD se divide en 8 tipos, basados en la clasificación del registro de naves de Lloyd's:

Carga general, buques graneleros, buques portacontenedores, petroleros, buques Ro-Ro, Pasajeros de línea, Ferry y Gaseros.

#### 1.4.4.2.4 DIMENSIONES DE BUQUES CON UN LÍMITE DE CONFIANZA DADO

Cuando se diseña instalaciones portuarias, el límite de confianza debe ser determinado teniendo en cuenta la función, el uso, la condición medioambiental, el buque de diseño, etc. para las instalaciones en particular, usando la experiencia ingenieril.

La Tabla 1.4.4-4: Dimensiones de los buques típicos con un límite de confianza del 75%

muestran las dimensiones de buques para niveles de confianza del 50% y 75%. Las dimensiones del BD se pueden determinar utilizando esta tabla. Para la comparación de desplazamientos, incluyendo 95%, se provee la Tabla 1.4.4-5 para uso con el diseño inicial.

La elección de TPM o GT depende del tipo de buque. Un buque que transporta carga pesada está adecuadamente expresado por toneladas de peso muerto, mientras que un buque que transporte carga liviana está adecuadamente expresado por su arqueo bruto, debido a que TPM es la medida representativa de peso, mientras que el GT es la medida representativa de volumen. La relación entre tipos de buques y variable explicativa se define como:

- TPM: Buques de carga general, graneleros, buques contenedores, petroleros y Buques Ro-Ro.
- GT: Buque de pasaje, Ferry y Gaseros.



Las relaciones entre el tonelaje de peso muerto (TPM) y arqueado bruto (GT) de cada tipo de buque puede ser tomado como se ve en la Tabla 1.4.4-2, para los tipos de nave que se indican.

**Tabla 1.4.4-2: Relación entre TPM (DWT) y GT**

<b>Carga general</b>	GT = 0,541 DWT
<b>Porta contenedores</b>	GT = 0,880 DWT
<b>Petroleros</b>	GT = 0,553 DWT
<b>Ro-Ro</b>	GT = 0,808 DWT

Fuente: Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan

Con respecto a los valores presentados en la Tabla 1.4.4-5, PIANC sugiere trabajar con los valores asociados a los límites de confianza de 50% y 75%.

Además, debe tenerse en cuenta que el reporte del grupo de trabajo 30 de PIANC, de junio de 1997 "Los canales de aproximación. Una guía para el diseño", también contiene una tabla de dimensiones de los buques típicos como se muestra en el Apéndice B p72 de la "Guía para el diseño de sistemas de defensas. Guía práctica". PIANC.2002. (Asociación Internacional de Navegación).

**Tabla 1.4.4-3: Dimensiones de los buques típicos con un límite de confianza del 50%**

Límite de Confianza: 50%											
TIPO	Dead Weight (t)	Desplazamiento (t)	Eslora Total (m)	Eslora entre Perpendiculares (m)	Manga (m)	DepthPuntal (m)	Calado Máximo (m)	Área Viento Lateral (m <sup>2</sup> )		Área Viento Frontal (m <sup>2</sup> )	
								Plena Carga	Liviano	Plena Carga	Liviano
BUQUE CARGA GENERAL	1.000	1.580	63	58	10,3	5,2	3,6	227	292	59	88
	2.000	3.040	78	72	12,4	6,4	4,5	348	463	94	134
	3.000	4.460	88	82	13,9	7,2	5,1	447	605	123	172
	5.000	7.210	104	96	16,0	8,4	6,1	612	849	173	236
	7.000	9.900	115	107	17,6	9,3	6,8	754	1.060	216	290
	10.000	13.900	128	120	19,5	10,3	7,6	940	1.340	274	361
	15.000	20.300	146	136	21,8	11,7	8,7	1.210	1.760	359	463
	20.000	26.600	159	149	23,6	12,7	9,6	1.440	2.130	435	552
	30.000	39.000	181	170	26,4	14,4	10,9	1.850	2.780	569	709
40.000	51.100	197	186	28,6	15,7	12,0	2.210	3.370	690	846	
GRANELEROS	5.000	6.740	106	98	15,0	8,4	6,1	615	850	205	231
	7.000	9.270	116	108	16,6	9,3	6,7	710	1.010	232	271
	10.000	13.000	129	120	18,5	10,4	7,5	830	1.230	264	320
	15.000	19.100	145	135	21,0	11,7	8,4	980	1.520	307	387
	20.000	25.000	157	148	23,0	12,8	9,2	1.110	1.770	341	443
	30.000	36.700	176	167	26,1	14,4	10,3	1.320	2.190	397	536
	50.000	59.600	204	194	32,3	16,8	12,0	1.640	2.870	479	682
	70.000	81.900	224	215	32,3	18,6	13,3	1.890	3.440	542	798
	100.000	115.000	248	239	37,9	20,7	14,8	2.200	4.150	619	940
	150.000	168.000	279	270	43,0	23,3	16,7	2.610	5.140	719	1.140
	200.000	221.000	303	294	47,0	25,4	18,2	2.950	5.990	800	1.310
250.000	273.000	322	314	50,4	27,2	19,4	3.240	6.740	868	1.450	
BUQUES PORTACONTENEDORES	7.000	10.200	116	108	19,6	9,3	6,9	1.320	1.360	300	396
	10.000	14.300	134	125	21,6	10,7	7,7	1.690	1.700	373	477
	15.000	21.100	157	147	24,1	12,6	8,7	2.250	2.190	478	591
	20.000	27.800	176	165	26,1	14,1	9,5	2.750	2.620	569	687
	25.000	34.300	192	180	27,7	15,4	10,2	3.220	3.010	652	770
	30.000	40.800	206	194	29,1	16,5	10,7	3.660	3.370	729	850
	40.000	53.700	231	218	32,3	18,5	11,7	4.480	4.040	870	990
	50.000	66.500	252	238	32,3	20,2	12,5	5.230	4.640	990	1.110
	60.000	79.100	271	256	35,2	21,7	13,2	5.950	5.200	1.110	1.220
PETROLEROS	1.000	1.450	59	54	9,7	4,3	3,8	107	266	78	80
	2.000	2.810	73	68	12,1	5,4	4,7	251	401	108	117
	3.000	4.140	83	77	13,7	6,3	5,3	315	509	131	146
	5.000	6.740	97	91	16,0	7,5	6,1	419	689	167	194
	7.000	9.300	108	102	17,8	8,4	6,7	505	841	196	233
	10.000	13.100	121	114	19,9	9,5	7,5	617	1.040	232	284
	15.000	19.200	138	130	22,5	11,0	8,4	770	1.320	281	355
	20.000	25.300	151	143	24,6	12,2	9,1	910	1.560	322	416
	30.000	37.300	171	163	27,9	14,0	10,3	1.140	1.990	390	520
	50.000	60.800	201	192	32,3	16,8	11,9	1.510	2.690	497	689
	70.000	83.900	224	214	36,3	18,9	13,2	1.830	3.280	583	829
	100.000	118.000	250	240	40,6	21,4	14,6	2.230	4.050	690	1.010
	150.000	174.000	284	273	46,6	24,7	16,4	2.800	5.150	840	1.260
	200.000	229.000	311	300	50,3	27,3	17,9	3.290	6.110	960	1.480
	300.000	337.000	354	342	57,0	31,5	20,1	4.120	7.770	1.160	1.850

Limite de Confianza: 50%											
TIPO	Dead Weight (t)	Desplazamiento (t)	Eslora Total (m)	Eslora entre Perpendiculares (m)	Manga (m)	DepthPuntal (m)	Calado Máximo (m)	Área Viento Lateral (m <sup>2</sup> )		Área Viento Frontal (m <sup>2</sup> )	
								Plena Carga	Liviano	Plena Carga	Liviano
RO RO	1.000	1.970	66	60	13,2	5,2	3,2	700	810	216	217
	2.000	3.730	85	78	15,6	7,0	4,1	970	1.110	292	301
	3.000	5.430	99	90	17,2	8,4	4,8	1.170	1.340	348	364
	5.000	8.710	119	109	19,5	10,5	5,8	1.480	1.690	435	464
	7.000	11.900	135	123	21,2	12,1	6,6	1.730	1.970	503	544
	10.000	16.500	153	141	23,1	14,2	7,5	2.040	2.320	587	643
	15.000	24.000	178	163	25,6	16,9	8,7	2.460	2.790	701	779
	20.000	31.300	198	182	27,4	19,2	9,7	2.810	3.180	794	890
	30.000	45.600	229	211	30,3	23,0	11,3	3.400	3.820	950	1.080
BUQUES DE PASAJE	1.000	850	60	54	11,4	4,1	1,9	426	452	167	175
	2.000	1.580	76	68	13,6	5,3	2,5	683	717	225	234
	3.000	2.270	87	78	15,1	6,2	3,0	900	940	267	277
	5.000	3.580	104	92	17,1	7,5	3,6	1.270	1.320	332	344
	7.000	4.830	117	103	18,6	8,6	4,1	1.600	1.650	383	396
	10.000	6.640	133	116	20,3	9,8	4,8	2.040	2.090	446	459
	15.000	9.530	153	132	22,5	11,5	5,6	2.690	2.740	530	545
	20.000	12.300	169	146	24,2	12,8	7,6	3.270	3.320	599	614
	30.000	17.700	194	166	26,8	14,9	7,6	4.310	4.350	712	728
	50.000	27.900	231	197	30,5	18,2	7,6	6.090	6.120	880	900
70.000	37.600	260	220	33,1	20,7	7,6	7.660	7.660	1.020	1.040	
FERRY	1.000	810	59	54	12,7	4,6	2,7	387	404	141	145
	2.000	1.600	76	69	15,1	5,8	3,3	617	646	196	203
	3.000	2.390	88	80	16,7	6,5	3,7	811	851	237	247
	5.000	3.940	106	97	19,0	7,6	4,3	1.150	1.200	302	316
	7.000	5.480	119	110	20,6	8,5	4,8	1.440	1.510	354	372
	10.000	7.770	135	125	22,6	9,5	5,3	1.830	1.930	419	442
	15.000	11.600	157	145	25,0	10,7	6,0	2.400	2.540	508	537
	20.000	15.300	174	162	26,8	11,7	6,5	2.920	3.090	582	618
	30.000	22.800	201	188	29,7	13,3	7,4	3.830	4.070	705	752
	40.000	30.300	223	209	31,9	14,5	8,0	4.660	4.940	810	860
GASEROS	1.000	2.210	68	63	11,1	5,3	4,3	350	436	121	139
	2.000	4.080	84	78	13,7	6,8	5,2	535	662	177	203
	3.000	5.830	95	89	15,4	7,8	5,8	686	846	222	254
	5.000	9.100	112	104	17,9	9,4	6,7	940	1.150	295	335
	7.000	12.300	124	116	19,8	10,6	7,4	1.150	1.410	355	403
	10.000	16.900	138	130	22,0	12,0	8,2	1.430	1.750	432	490
	15.000	24.100	157	147	24,8	13,9	9,3	1.840	2.240	541	612
	20.000	31.100	171	161	27,1	15,4	10,0	2.190	2.660	634	716
	30.000	44.400	194	183	30,5	17,8	11,7	2.810	3.400	794	894
	50.000	69.700	227	216	35,5	21,3	11,7	3.850	4.630	1.050	1.180
	70.000	94.000	252	240	39,9	24,0	11,7	4.730	5.670	1.270	1.420
100.000	128.000	282	268	43,7	27,3	11,7	5.880	7.030	1.550	1.730	

\*) Las áreas laterales y frontales al viento para la condición de Plena Carga de los transportadores de madera no incluyen el área de la madera sobre cubierta

\*\*) Las áreas laterales y frontales al viento para la condición de Plena Carga de los buques portacontenedores incluyen el área de los contenedores sobre cubierta

Fuente: Guidelines for the design of fenders systems. PIANC

**Tabla 1.4.4-4: Dimensiones de los buques típicos con un límite de confianza del 75%**

Límite de Confianza: 75%											
TIPO	Dead Weight (t)	Desplazamiento (t)	Eslora total (m)	Eslora entre Perpendiculares (m)	Manga (m)	Puntal (m)	Calado Máximo (m)	Área Viento Lateral (m <sup>2</sup> )		Área Viento Frontal (m <sup>2</sup> )	
								Plena Carga	Liviano	Plena Carga	Liviano
BUQUES CARGA GENERAL	1.000	1.690	67	62	10,8	5,8	3,9	278	342	63	93
	2.000	3.250	83	77	13,1	7,2	4,9	426	541	101	142
	3.000	4.750	95	88	14,7	8,1	5,6	547	708	132	182
	5.000	7.690	111	104	16,9	9,4	6,6	750	993	185	249
	7.000	10.600	123	115	18,6	10,4	7,4	922	1.240	232	307
	10.000	14.800	137	129	20,5	11,6	8,3	1.150	1.570	294	382
	15.000	21.600	156	147	23,0	13,1	9,5	1.480	2.060	385	490
	20.000	28.400	170	161	24,9	14,3	10,4	1.760	2.490	466	585
	30.000	41.600	193	183	27,8	16,2	11,9	2.260	3.250	611	750
40.000	54.500	211	200	30,2	17,6	13,0	2.700	3.940	740	895	
GRANELEROS	5.000	6.920	109	101	15,5	8,6	6,2	689	910	221	245
	7.000	9.520	120	111	17,2	9,5	6,9	795	1.090	250	287
	10.000	13.300	132	124	19,2	10,6	7,7	930	1.320	286	340
	15.000	19.600	149	140	21,8	11,9	8,6	1.100	1.630	332	411
	20.000	25.700	161	152	23,8	13,0	9,4	1.240	1.900	369	470
	30.000	37.700	181	172	27,0	14,7	10,6	1.480	2.360	428	569
	50.000	61.100	209	200	32,3	17,1	12,4	1.830	3.090	518	723
	70.000	84.000	231	221	32,3	18,9	13,7	2.110	3.690	586	846
	100.000	118.000	255	246	39,2	21,1	15,2	2.460	4.460	669	1.000
	150.000	173.000	287	278	44,5	23,8	17,1	2.920	5.520	777	1.210
200.000	227.000	311	303	48,7	25,9	18,6	3.300	6.430	864	1.380	
250.000	280.000	332	324	52,2	27,7	19,9	3.630	7.240	938	1.540	
BUQUES PORTACONTENEDORES	7.000	10.700	123	115	20,3	9,8	7,2	1.460	1.590	330	444
	10.000	15.100	141	132	22,4	11,3	8,0	1.880	1.990	410	535
	15.000	22.200	166	156	25,0	13,3	9,0	2.490	2.560	524	663
	20.000	29.200	186	175	27,1	14,9	9,9	3.050	3.070	625	771
	25.000	36.100	203	191	28,8	16,3	10,6	3.570	3.520	716	870
	30.000	43.000	218	205	30,2	17,5	11,1	4.060	3.950	800	950
	40.000	56.500	244	231	32,3	19,6	12,2	4.970	4.730	950	1.110
	50.000	69.900	266	252	32,3	21,4	13,0	5.810	5.430	1.090	1.250
60.000	83.200	286	271	36,5	23,0	13,8	6.610	6.090	1.220	1.370	
PETROLEROS	1.000	1.580	61	58	10,2	4,5	4,0	190	280	86	85
	2.000	3.070	76	72	12,6	5,7	4,9	280	422	119	125
	3.000	4.520	87	82	14,3	6,6	5,5	351	536	144	156
	5.000	7.360	102	97	16,8	7,9	6,4	467	726	184	207
	7.000	10.200	114	108	18,6	8,9	7,1	564	885	216	249
	10.000	14.300	127	121	20,8	10,0	7,9	688	1.090	255	303
	15.000	21.000	144	138	23,6	11,6	8,9	860	1.390	309	378
	20.000	27.700	158	151	25,8	12,8	9,6	1.010	1.650	355	443
	30.000	40.800	180	173	29,2	14,8	10,9	1.270	2.090	430	554
	50.000	66.400	211	204	32,3	17,6	12,6	1.690	2.830	548	734
	70.000	91.600	235	227	38,0	19,9	13,9	2.040	3.460	642	884
	100.000	129.000	263	254	42,5	22,5	15,4	2.490	4.270	761	1.080
	150.000	190.000	298	290	48,1	25,9	17,4	3.120	5.430	920	1.340
	200.000	250.000	327	318	52,6	28,7	18,9	3.670	6.430	1.060	1.570
	300.000	368.000	371	363	59,7	33,1	21,2	4.600	8.180	1.280	1.970

Límite de Confianza: 75%											
TIPO	Dead Weight (t)	Desplazamiento (t)	Eslora total (m)	Eslora entre Perpendiculares (m)	Manga (m)	Puntal (m)	Calado Máximo (m)	Área Viento Lateral (m <sup>2</sup> )		Área Viento Frontal (m <sup>2</sup> )	
								Plena Carga	Liviano	Plena Carga	Liviano
RO RO	1.000	2.190	73	66	14,0	6,2	3,5	880	970	232	232
	2.000	4.150	94	86	16,6	8,4	4,5	1.210	1.320	314	323
	3.000	6.030	109	99	18,3	10,0	5,3	1.460	1.590	374	391
	5.000	9.670	131	120	20,7	12,5	6,4	1.850	2.010	467	497
	7.000	13.200	148	136	22,5	14,5	7,2	2.170	2.350	541	583
	10.000	18.300	169	155	24,6	17,0	8,2	2.560	2.760	632	690
	15.000	26.700	196	180	27,2	20,3	9,6	3.090	3.320	754	836
	20.000	34.800	218	201	29,1	23,1	10,7	3.530	3.780	854	960
	30.000	50.600	252	233	32,2	27,6	12,4	4.260	4.550	1.020	1.160
BUQUES DE PASAJE	1.000	1.030	64	60	12,1	4,9	2,6	464	486	187	197
	2.000	1.910	81	75	14,4	6,3	3,4	744	770	251	263
	3.000	2.740	93	86	16,0	7,4	4,0	980	1.010	298	311
	5.000	4.320	112	102	18,2	9,0	4,8	1.390	1.420	371	386
	7.000	5.830	125	114	19,8	10,2	5,5	1.740	1.780	428	444
	10.000	8.010	142	128	21,6	11,7	6,4	2.220	2.250	498	516
	15.000	11.500	163	146	23,9	13,7	7,5	2.930	2.950	595	611
	20.000	14.900	180	160	25,7	15,3	8,0	3.560	3.570	669	690
	30.000	21.300	207	183	28,4	17,8	8,0	4.690	4.680	795	818
50.000	33.600	248	217	32,3	21,7	8,0	6.640	6.580	990	1.010	
70.000	45.300	278	243	35,2	24,6	8,0	8.350	8.230	1.140	1.170	
FERRY	1.000	1.230	67	61	14,3	5,5	3,4	411	428	154	158
	2.000	2.430	86	78	17,0	6,8	4,2	656	685	214	221
	3.000	3.620	99	91	18,8	7,7	4,8	862	903	259	269
	5.000	5.970	119	110	21,4	9,0	5,5	1.220	1.280	330	344
	7.000	8.310	134	124	23,2	10,0	6,1	1.530	1.600	387	405
	10.000	11.800	153	142	25,4	11,1	6,8	1.940	2.040	458	482
	15.000	17.500	177	164	28,1	12,6	7,6	2.550	2.690	555	586
	20.000	23.300	196	183	30,2	13,8	8,3	3.100	3.270	636	673
	30.000	34.600	227	212	33,4	15,6	9,4	4.070	4.310	771	819
40.000	45.900	252	236	35,9	17,1	10,2	4.950	5.240	880	940	
GASEROS	1.000	2.480	71	66	11,7	5,7	4,6	390	465	133	150
	2.000	4.560	88	82	14,3	7,2	5,7	597	707	195	219
	3.000	6.530	100	93	16,1	8,4	6,4	765	903	244	273
	5.000	10.200	117	109	18,8	10,0	7,4	1.050	1.230	323	361
	7.000	13.800	129	121	20,8	11,3	8,1	1.290	1.510	389	434
	10.000	18.900	144	136	23,1	12,9	9,0	1.600	1.870	474	527
	15.000	27.000	164	154	26,0	14,9	10,1	2.050	2.390	593	658
	20.000	34.800	179	169	28,4	16,5	11,0	2.450	2.840	696	770
	30.000	49.700	203	192	32,0	19,0	12,3	3.140	3.630	870	961
	50.000	78.000	237	226	37,2	22,8	12,3	4.290	4.940	1.150	1.270
70.000	105.000	263	251	41,2	25,7	12,3	5.270	6.050	1.390	1.530	
100.000	144.000	294	281	45,8	29,2	12,3	6.560	7.510	1.690	1.860	

\*) Las áreas laterales y frontales al viento para la condición de Plena Carga de los transportadores de madera no incluyen el área de las maderas sobre cubierta  
 \*\*) Las áreas laterales y frontales al viento para la condición de Plena Carga de los buques portacontenedores incluyen el área de los contenedores sobre cubierta

Fuente: Guidelines for the design of fenders systems. PIANC

**Tabla 1.4.4-5: Desplazamientos de los buques con límites de confianza del 50%, 75%, 95%**

Confidence Limit: 50%, 75%, 95%				
Tipo	Dead Weight (t)	Desplazamiento (t)		
		50%	75%	95%
BUQUES CARGA GENERAL	1.000	1.850	1.690	1.850
	2.000	3.040	3.250	3.560
	3.000	4.460	4.750	5.210
	5.000	7.210	7.690	8.440
	7.000	9.990	10.600	11.600
	10.000	13.900	14.800	16.200
	15.000	20.300	21.600	23.700
	20.000	26.600	28.400	31.000
	30.000	39.000	41.600	45.600
40.000	51.100	54.500	59.800	
GRANELEROS	5.000	6.740	6.920	7.190
	7.000	9.270	9.520	9.880
	10.000	13.000	13.300	13.800
	15.000	19.100	19.600	20.300
	20.000	25.000	25.700	26.700
	30.000	36.700	37.700	39.100
	50.000	59.600	61.100	63.500
	70.000	81.900	84.000	87.200
	100.000	115.000	118.000	122.000
	150.000	168.000	173.000	179.000
	200.000	221.000	227.000	236.000
250.000	273.000	280.000	291.000	
BUQUE PORTACONTENEDORES	7.000	10.200	10.700	11.500
	10.000	14.300	15.100	16.200
	15.000	21.100	22.200	23.900
	20.000	27.800	29.200	31.400
	25.000	34.300	36.100	38.800
	30.000	40.800	43.000	46.200
	40.000	53.700	56.500	60.800
	50.000	66.500	69.900	75.200
	60.000	79.100	83.200	89.400

Confidence Limit: 50%, 75%, 95%				
Tipo	Dead Weight (t)	Desplazamiento (t)		
		50%	75%	95%
PETROLERO	1.000	1.450	1.580	1.800
	2.000	2.810	3.070	3.480
	3.000	4.140	4.520	5.130
	5.000	6.740	7.360	8.360
	7.000	9.300	10.200	11.500
	10.000	13.100	14.300	16.200
	15.000	19.200	21.000	23.900
	20.000	25.300	27.700	31.400
	30.000	37.300	40.800	46.300
	50.000	60.800	66.400	75.500
	70.000	83.900	91.600	104.000
	100.000	118.000	129.000	146.000
	150.000	174.000	190.000	216.000
	200.000	229.000	250.000	284.000
300.000	337.000	368.000	418.000	
RO/RO	1.000	1.970	2.170	2.540
	2.000	3.730	4.150	4.820
	3.000	5.430	6.030	7.010
	5.000	8.710	9.670	11.200
	7.000	11.900	13.200	15.300
	10.000	16.500	18.300	21.300
	15.000	24.000	27.000	31.000
	20.000	31.300	34.800	41.400
	30.000	45.600	50.600	58.800
BUQUE DE PASAJE	1.000	850	1.030	1.350
	2.000	1.580	1.910	2.500
	3.000	2.270	2.740	3.590
	5.000	3.580	4.320	5.650
	7.000	4.830	5.830	7.630
	10.000	6.640	8.010	10.500
	15.000	9.530	11.500	15.000
	20.000	12.300	14.900	19.400
	30.000	17.700	21.300	27.900
	50.000	27.900	33.600	44.000
70.000	37.600	45.300	59.300	

Confidence Limit: 50%, 75%, 95%				
Tipo	Dead Weight (t)	Desplazamiento (t)		
		50%	75%	95%
FERRY	1.000	810	1.230	2.240
	2.000	1.600	2.430	4.430
	3.000	2.390	3.620	6.590
	5.000	3.940	5.970	10.900
	7.000	5.480	8.310	15.100
	10.000	7.770	11.800	21.500
	15.000	11.600	17.500	31.900
	20.000	15.300	23.300	42.300
	30.000	22.800	34.600	63.000
	40.000	30.300	45.900	83.500
GASERO	1.000	2.210	2.480	2.910
	2.000	4.080	4.560	5.370
	3.000	5.830	6.530	7.680
	5.000	9.100	10.200	12.000
	7.000	12.300	13.800	16.200
	10.000	16.900	18.900	22.200
	15.000	24.100	27.000	31.700
	20.000	31.100	34.800	40.900
	30.000	44.400	49.700	58.500
	50.000	69.700	78.000	91.800
	70.000	94.000	105.000	124.000
	100.000	128.000	144.000	169.000

Fuente: Guidelines for the design of fenders systems. PIANC

Las tablas tanto de ROM como PIANC no contemplan el desarrollo de los tamaños de buques de los últimos años, especialmente el tipo de portacontenedores, Ro-Ro y cruceros, por lo que se hará necesario que el consultor solicite al mandante las características para los diferentes tipos de buques de diseño que requiera, mientras se efectúa el análisis de las características promedio de los diferentes rangos de capacidades que se han desarrollado para diferentes tipos de buques, no contemplados en las tablas antes mencionadas.



**Tabla 1.4.4-6: Características de buques portacontenedores que han arribado a puertos Chilenos en los últimos años**

Nombre buque	Eslora, m	Manga, m	Desplazamiento, m/t	Calado, m	DWT
MSC BARBARA	304,0	40,0	112.636,0	14,5	85.820
MSC LUCY	324,8	42,8	135.562,3	14,5	101.661
MSC ESTHI	336,7	45,6	146.852,8	15,0	109.600
MSC MADELEINE	348,5	42,8	144.452,4	14,5	107.200
MSC DANIELA	365,5	51,2	156.301,0	15,2	165.000

Fuente: Base de datos ARA Worley Parsons

## 1.4.5 PRINCIPIOS DE AMARRAS<sup>13</sup>

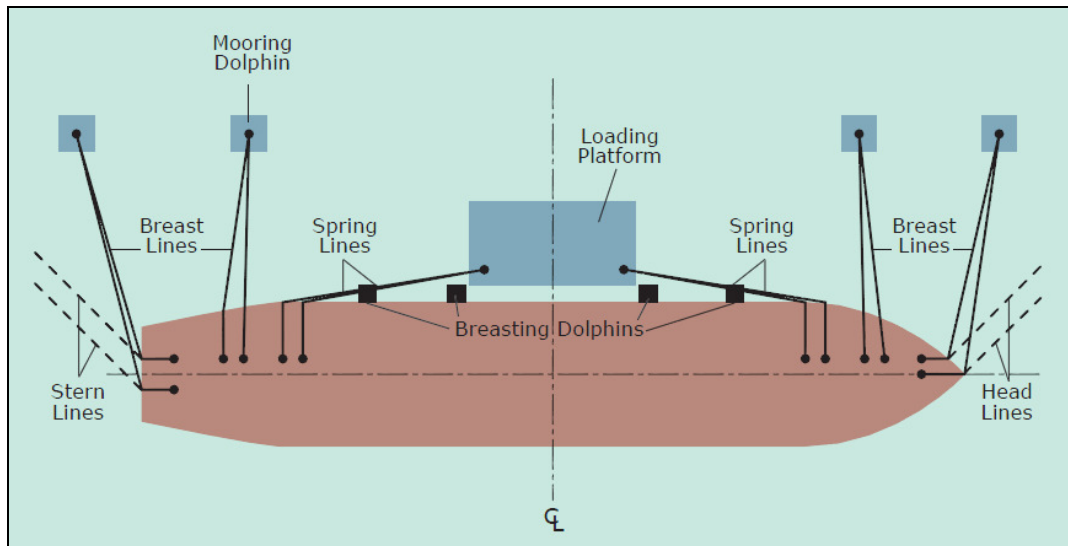
### 1.4.5.1 GENERAL

El término "amarras" se refiere al sistema para asegurar un buque a un Terminal. Los terminales más comunes para buques tanques son los muelles y duques de alba, sin embargo, otras operaciones a bordo, tales como amarras a monoboyas (SPM), amarras a multi-boyas (MBM), remolque de emergencia, manejo de remolcadores, amarra de barcaza, tránsito de canales, transferencia barco a barco y fondeo de buques pueden caer en la amplia categoría de amarras y por lo tanto requieren accesorios y equipos especiales. El equipamiento de fondeo está cubierto por las normas de las Sociedades de Clasificación y por tanto no están incluidas en estas directrices.

La Figura 1.4.5-1 Muestra un patrón típico en el puerto de una Terminal de carga.

<sup>13</sup> Mooring Equipment Guidelines. Second Edition 1997. Oil Companies International Marine Forum. OCIMF.

Figura 1.4.5-1: Modelo de Amarre típica



Fuente: Mooring Equipment Guidelines OCIMF

El uso de un sistema de amarras eficiente es esencial para la seguridad del buque, su tripulación, el terminal y el medio ambiente. El problema de cómo optimizar las amarras para resistir las diversas fuerzas será tratado por medio de las respuestas a las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las fuerzas aplicadas en el barco?.
- ¿Qué principios generales determinan cómo las fuerzas aplicadas son distribuidas a las líneas de amarra?.
- ¿Cómo pueden los principios anteriormente mencionados ser aplicados en el establecimiento de una buena distribución de amarras?.

Dado que ningún equipo en el puerto tiene capacidad ilimitada, con el fin de responder a estas preguntas será necesario entender exactamente que se espera lograr de las amarras de un buque.

#### 1.4.5.2 FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE EL BUQUE

Las amarras de un buque deben resistir las fuerzas debido a algunos, posiblemente todos, de los siguientes factores:

- Viento
- Corriente
- Mareas
- Oleaje de los buques que pasan
- Ondas de oleaje
- Hielo
- Cambios de calado

Esta sección se ocupa principalmente del desarrollo de un sistema de amarras para resistir el viento, corriente y las fuerzas de marea en un buque en un muelle convencional. Normalmente, si la distribución de las amarras está diseñada para soportar las máximas fuerzas de viento y corriente, la fuerza de reserva será suficiente para resistir otras fuerzas moderadas que puedan surgir. Si existen condiciones apreciables de marejada, oleaje o de hielo en el terminal, se pueden desarrollar considerables cargas en las amarras del buque. Estas fuerzas son difíciles de analizar excepto a través de análisis de modelos, mediciones de campo o programas computacionales dinámicos. Buques que arriban a terminales donde existan tales condiciones extraordinarias deben estar informados que las condiciones medio ambiental normales pueden ser excedidas y será necesario implementar las medidas apropiadas.

Las fuerzas en los amarres, debido a cambios en la elevación de la nave, ya sea de carga o fluctuaciones de las mareas o de las operaciones de descarga deben ser compensadas por la tensión apropiadas de las líneas.

#### 1.4.5.2.1 FUERZAS DE VIENTO Y CORRIENTES

Los procedimientos para calcular estas fuerzas están cubiertos en la guía para equipamiento de amarras en Referencia iii y iv de OCIMF<sup>14</sup>. Se hicieron pruebas adicionales para pequeños buques que muestran que los coeficientes de viento no varían significativamente para la mayoría de los casos. En consecuencia, los coeficientes de los grandes buques publicados en la Referencia iv de OCIMF, puede ser utilizado para los buques tanques con puente a popa con geometría similar a los de menos de 16.000 toneladas de peso muerto de tamaño.

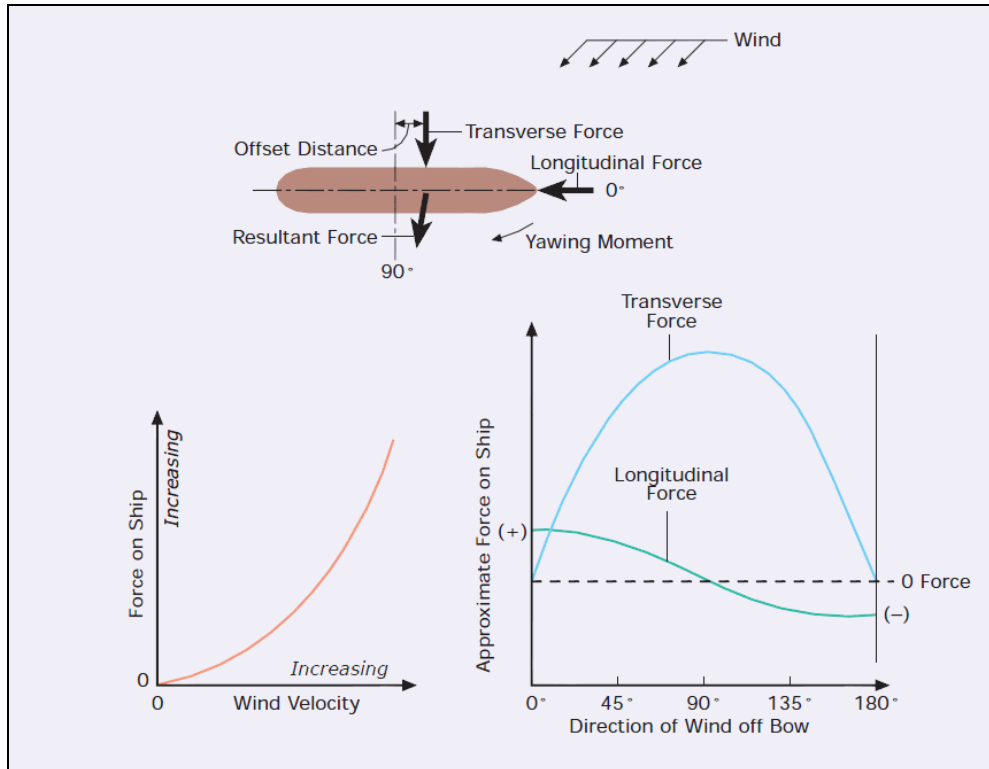
La Figura 1.4.5-2 muestra cómo la fuerza del viento resultante sobre un buque varía con la velocidad y dirección del viento. Para simplificar, las fuerzas del viento en un buque se pueden descomponer en dos componentes: una fuerza longitudinal actuando en paralelo al eje longitudinal del buque, y una fuerza transversal que actúa perpendicular al eje longitudinal.

La Fuerza del viento en el buque también varía con el área expuesta de la nave. Dado que el viento de proa sólo golpea una pequeña porción del área total expuesta del buque tanque, la fuerza longitudinal es relativamente pequeña. Un viento del través, por otra parte, ejerce una fuerza transversal muy grande en la zona expuesta en el área lateral del buque. Para una velocidad del viento dada la fuerza máxima del viento transversal en un VLCC es de aproximadamente cinco veces mayor que la máxima fuerza del viento longitudinal. Para un viento de 50 nudos en un petrolero en lastre de 250.000 TPM, las fuerzas máximas transversales y longitudinales son alrededor de 320 toneladas (3.138 kN) y 60 toneladas (588 kN), respectivamente.

Si el viento llega a la nave desde cualquier dirección de la amura o aleta, entre la cuadra y hacia proa (o hacia atrás), ejercerá tanto una fuerza transversal y longitudinal, ya que está afectando tanto la proa (o popa) y el costado del buque. Para cualquier velocidad del viento dada, tanto los componentes de la fuerza transversal y longitudinal de un viento amurado será menor que las fuerzas correspondientes causadas por el mismo viento soplando por el través, o de frente.

<sup>14</sup> Prediction of wind and current load son VLCCs. OCIMF. 1994

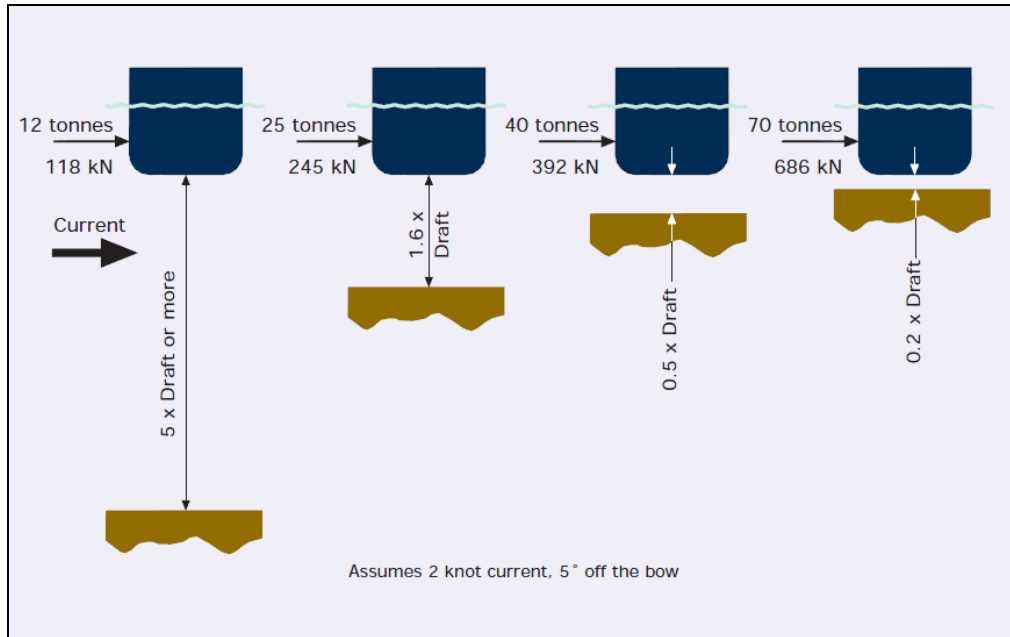
**Figura 1.4.5-2: La fuerza del viento en un barco**



Fuente: Mooring Equipment Guidelines. OCIMF

Con la excepción del viento que está muy despacio por la proa o por atrás o por el través, la fuerza del viento resultante no tiene la misma dirección angular que el viento. Por ejemplo, un viento 45º abierto de proa produce una fuerza de viento resultante de alrededor de 80º abierto de la proa para un buque de 250.000 TPM. En este caso, el punto de aplicación de la fuerza es delante de la línea central transversal, produciendo un momento de guiñada del buque.

**Figura 1.4.5-3: Efecto del espacio bajo la quilla en la fuerza de corriente**



Fuente: Mooring Equipment Guidelines. OCIMF

Las fuerzas de la corriente en el barco se deben añadir a las fuerzas del viento cuando se evalúe un sistema de amarre.

En general, la variabilidad de las fuerzas de corriente en un buque debido a la velocidad y dirección de la corriente siguen un patrón similar al de las fuerzas del viento. Las fuerzas de la corriente son más complicadas por el importante efecto del resguardo bajo la quilla. La Figura 1.4.5-3 muestra el aumento de la fuerza debido a la reducción del resguardo bajo la quilla. La mayoría de los terminales está orientado más o menos paralelo a la corriente, con lo que minimizan las fuerzas de la corriente. Sin embargo, incluso una corriente con un pequeño ángulo (por ejemplo, 5°) fuera del eje longitudinal del buque puede crear una fuerza transversal grande y debe ser tomada en consideración. Las pruebas de modelo indican que la fuerza de la corriente creada por un nudo de corriente por la proa en un petrolero cargado de 250.000 TPM con un resguardo de dos metros bajo la quilla es de aproximadamente 5 toneladas (49 kN), mientras que la carga desarrollada por una corriente del través de un nudo con el mismo resguardo bajo la quilla es de aproximadamente 230 toneladas (2.268 kN).

### 1.4.5.3 MODELO DE AMARRAS

El término “Modelo de Amarras” se refiere a la disposición geométrica de las líneas de amarra entre el buque y el muelle”.

La línea guía más eficiente para resistir cualquier tipo de carga medioambiental es una línea orientada en la misma dirección de la carga. Esto implicaría que, en teoría, las líneas de amarra deberían estar orientadas en la dirección de las fuerzas del medio ambiente y estar unidas a una ubicación longitudinal en el buque tal que la carga resultante y el acto de sujeción actúen como una sola fuerza y en la misma ubicación. Tal sistema sería impracticable puesto que no tiene flexibilidad para adaptarse a las diferentes direcciones de cargas medioambientales y los puntos de amarras se encontrarían ubicados en diferentes terminales. Para aplicaciones en general el modelo de amarras debe ser capaz de hacer frente a las fuerzas ambientales desde cualquier dirección. Esto puede ser abordado en mejor forma descomponiendo estas fuerzas en una longitudinal y una transversal y luego calcular la forma más eficaz que puedan ser efectivamente resistidas. De ello se deduce que algunas líneas deben estar en una dirección longitudinal (líneas Spring) y algunas líneas en una dirección transversal (líneas de través). Esta es la orientación principal para un efectivo modelo de amarras para la aplicación general, aunque la ubicación de los reales elementos de amarra en el terminal no siempre permite que esto sea puesto en práctica. La disminución en efectividad por desviación de la línea de amarra óptima se muestra en las Figura 1.4.5-4 y Figura 1.4.5-5 (Comparar los casos 1 y 3 en Figura 1.4.5-4, donde la carga máxima de la línea se incrementa de 57 (559 kN) a 88 toneladas (863 kN)).

Hay una diferencia básica en la función de las líneas Spring y las líneas de través, que debe ser entendido de la misma forma por los diseñadores y operadores. Las líneas de spring frenan la nave en dos direcciones (hacia delante y hacia atrás); las líneas de través frenan en una sola dirección (que se separe del muelle), la retención en la dirección contra el muelle es provista por las defensas y los duques de alba. Considerando que todas las líneas de través están siendo tensionadas por una fuerza medioambiental que separa del muelle, generalmente será tensionado sólo el spring de proa o el spring de popa. Por esta razón el método de pasar las líneas difiere entre las líneas spring y las líneas de través (como se explica más adelante). Si las líneas spring están pretensadas, sólo la diferencia entre las fuerzas que se oponen a las líneas spring estará disponible para la sujeción longitudinal del buque.

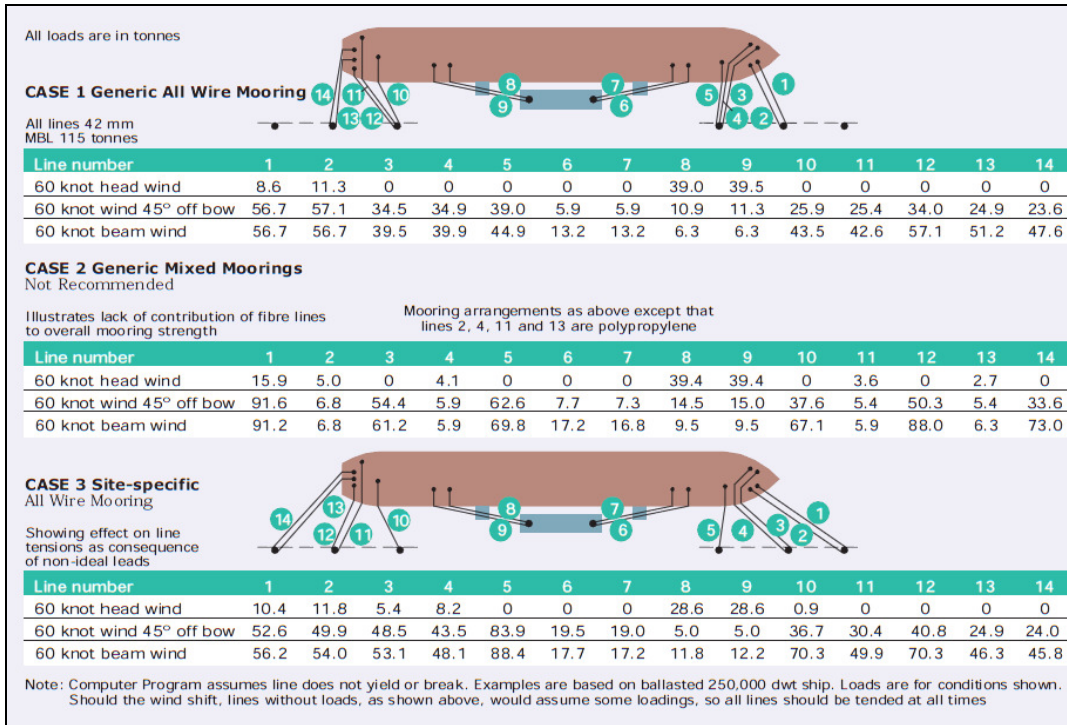
Algunos modelos de amarra incorporan líneas largas en proa y popa, las cuales están orientadas en una dirección entre las líneas longitudinales y las líneas transversales. La

componente longitudinal de tales líneas, actúa como una línea spring y la componente transversal, como una línea de través. Bajo tensión, las componentes longitudinales de proa y popa se oponen y tienden a anularse entre sí, y son por lo tanto ineficientes en la sujeción longitudinal del buque. Las líneas largas de proa y popa son sólo parcialmente eficientes en proveer la sujeción transversal como se muestra en la Figura 1.4.5-5. Su efectividad, además será reducida, debido a los efectos de elasticidad en el caso que exista una distribución en combinación con líneas de través.

La efectividad de una línea de amarra está influenciada por dos ángulos: el ángulo vertical que la línea forma con la cubierta del muelle y el ángulo horizontal que la línea forma con el costado paralelo del buque. Mientras más inclinada sea la orientación de la línea menos efectividad tiene para resistir las cargas horizontales. Por ejemplo, una línea orientada en un ángulo vertical de  $45^\circ$  sólo tiene 75 % de efectividad en la sujeción del buque comparada con una línea orientada en un ángulo vertical  $20^\circ$ . Mientras mayor es el ángulo horizontal entre el costado paralelo del buque y la línea, menor efectividad tiene la línea en la sujeción de una fuerza longitudinal.

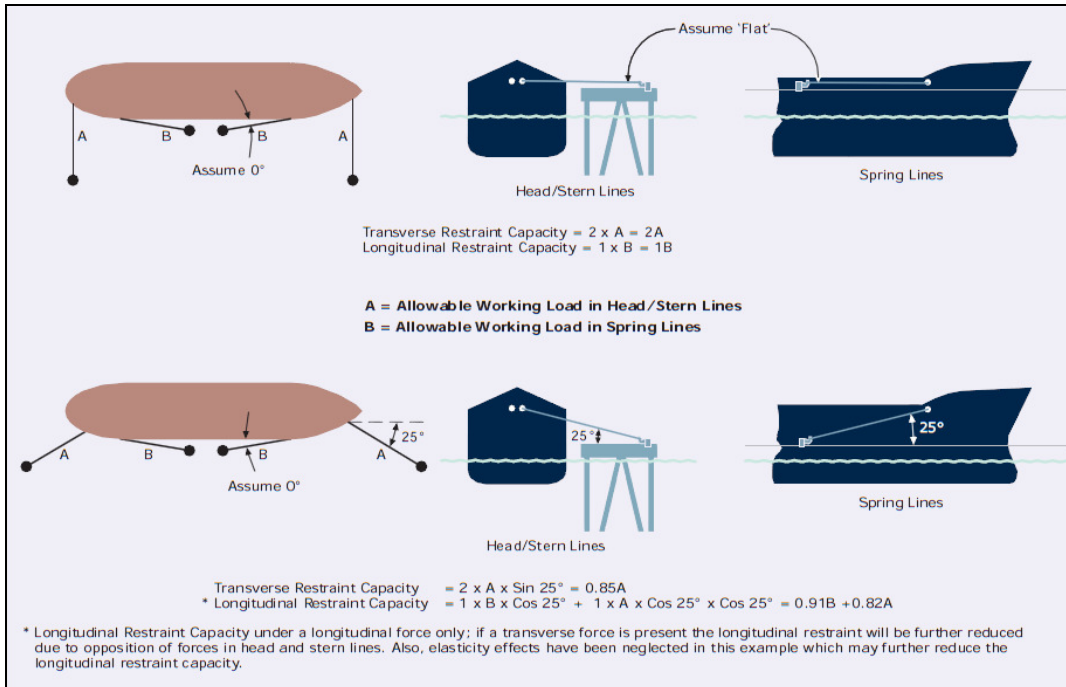


**Figura 1.4.5-4: Análisis de modelos de amarras**



Fuente: Mooring Equipment Guidelines. OCIMF

**Figura 1.4.5-5: Efectos de la orientación de las amarras en la capacidad de retención**



Fuente: Mooring Equipment guidelines. OCIMF

#### 1.4.5.4 ELASTICIDAD DE LAS AMARRAS

La elasticidad de una línea de amarra es una medida de su capacidad para estirarse bajo carga. Bajo una carga dada, una línea elástica se estira más que una línea rígida. La elasticidad juega un importante rol en el sistema de amarra por varias razones:

- Una alta elasticidad puede absorber mayores cargas dinámicas. Por esta razón, una alta elasticidad es deseable para las operaciones de transferencia buque a buque, o en terminales sujetos a oleaje o mar de fondo.
- Por otro lado, una alta elasticidad significa que el barco se moverá mucho más en el muelle y esto puede causar problemas con los brazos de carga o mangueras. Tal movimiento también crea energía cinética adicional en el sistema de amarra.

- Un tercer y más importante aspecto es el efecto de la elasticidad en la distribución de fuerzas entre varias líneas de amarra. El modelo de amarra sencillo de cuatro líneas mostrado en la parte superior del Figura 1.4.5-5 es insensible a la elasticidad de las líneas, pero es adecuado sólo para botes o buques muy pequeños. Debido a limitaciones de tamaño en líneas individuales, muchas más líneas deben ser utilizadas para los buques más grandes.

El sistema óptimo de sujeción generalmente es logrado si todas las líneas, excepto las líneas spring, están tensionadas en el mismo porcentaje de su resistencia a la rotura. Una estibación correcta de la carga puede ser lograda si se cumplen los siguientes principios:

El principio general es que si dos líneas de diferentes elasticidad están conectadas al buque en un mismo punto, la más rígida siempre tomara una mayor porción de la carga (asumiendo que el freno del winche está colocado) en el caso que la orientación es exactamente similar. La razón para esto es que ambas líneas deben estirarse una cantidad igual, y al hacerlo así, la línea más rígida asume una mayor porción de la carga. La diferencia relativa entre las cargas dependerá entonces de la diferencia entre las elasticidades y puede ser muy grande.

La elasticidad de una línea de amarra depende entonces de los siguientes factores:

- Material
- Construcción
- Largo
- Diámetro

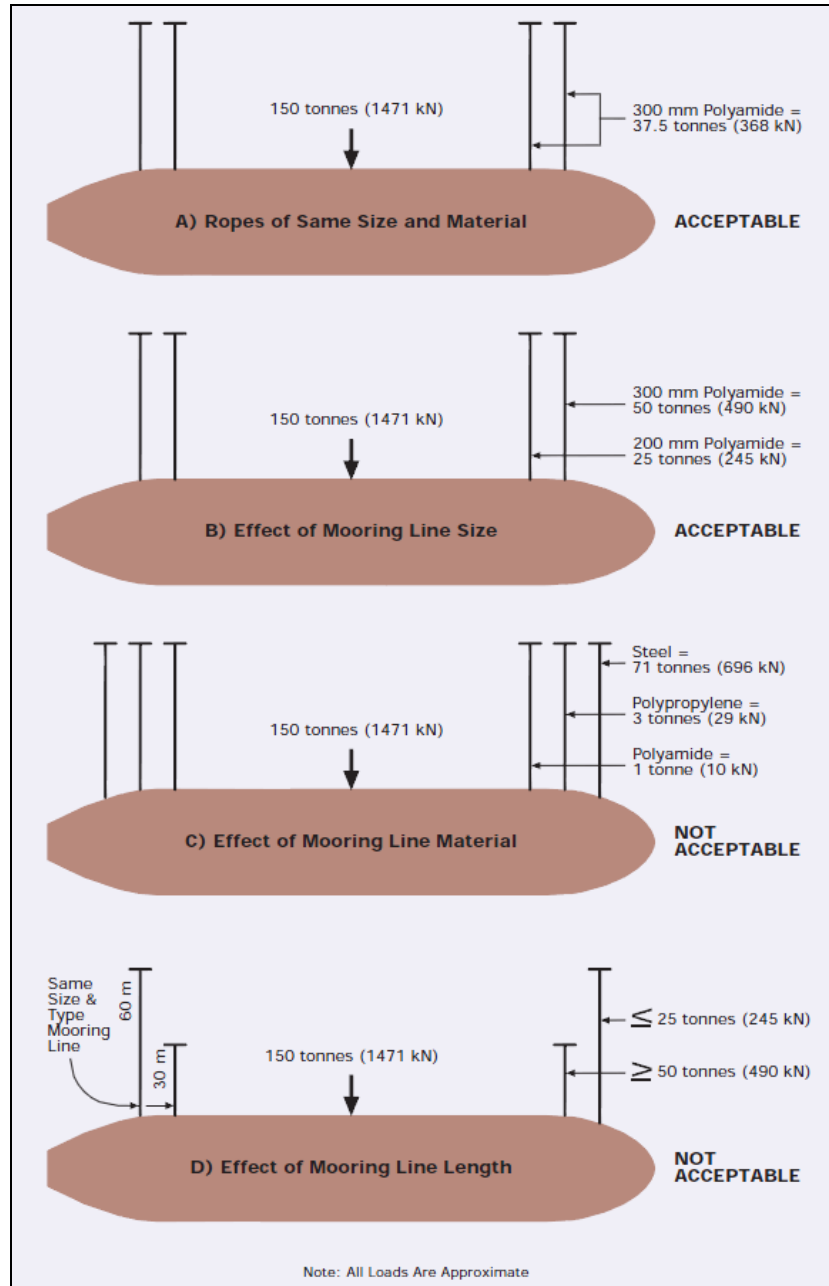
La Figura 1.4.5-6 demuestra el significado de cada uno de los factores arriba mencionados en la distribución de las cargas. Los puntos más importantes a tener en cuenta son la diferencia apreciable en la elasticidad entre las líneas de acero y líneas de fibra y el efecto de las dimensiones de la línea en la elasticidad. Los casos A) y B) en la Figura 1.4.5-6 son ejemplos de distribución de amarras aceptables, mientras que el caso C) muestra una amarra que debe ser evitada, donde cada una de las amarras presentan distintos tipos de material.

Las líneas de amarra de alambre son muy rígidas. El estiramiento para una línea de alambre de construcción 6 x 37 a la carga a la cual el material comienza a deformarse permanentemente está cerca del 1% de la longitud del alambre. Bajo una carga equivalente, una línea de polipropileno puede estirarse diez veces lo que se estira una de alambre. Así, si una línea de alambre se coloca paralela a una línea de fibra, la línea de alambre tomara casi la carga completa, mientras que la línea de fibra prácticamente no toma carga. La elasticidad también varía entre diferentes tipos de líneas de fibra y, aunque la diferencia generalmente no es tan significativa como entre las líneas de fibra y alambre, la diferencia afectará la distribución de la carga. Las líneas de fibra "Aramida" por ejemplo, tiene mucho menos elasticidad que otras líneas de fibra sintética y tomaran la mayoría de la carga si se colocan paralelas a líneas sintéticas.

El efecto del material en la distribución de carga es crítico y el uso de amarras mezcladas para servicio similar, por ejemplo, Springs hacia adelante, deben ser evitados. En algunos casos, las líneas de fibra pueden no tomar carga, mientras que al mismo tiempo algunos de las líneas de alambre son fuertemente cargados, posiblemente más allá de su resistencia a la rotura.

Lo mismo podría decirse de las líneas de fibra mezcladas o de variada elasticidad, a pesar de que las diferencias generalmente pueden no ser tan grandes.

**Figura 1.4.5-6: Efecto de la elasticidad de amarre en la capacidad de retención.**



Fuente: Mooring Equipment guidelines. OCIMF

Los efectos de mezclar líneas de alambre y fibra sintética se muestran en la Figura 1.4.5-4, por la comparación de los casos 1 y 2. (Vea las bajas cargas en las líneas de fibra 2, 4, 11 y 13 y el aumento de la cargas en las líneas de amarra de un máximo de 57 toneladas (559 kN) a un máximo de 88 toneladas (863 kN)).

El efecto de la longitud de la línea en la distribución de la carga también debe ser considerado. La elasticidad de la línea varía directamente con la longitud de la y tiene un efecto significativo en la carga de la línea. Una línea de alambre 60 m de longitud asumirá sólo aproximadamente la mitad de la carga de una línea de 30 m paralela y adyacente del mismo tamaño, construcción, y material.

La elasticidad de un determinado tipo de línea también varía con sus diámetros y construcción. Por lo general este factor no es una consideración importante ya que la carga relativa a las fuerzas de las líneas es el factor regulador antes que la carga absoluta.

#### 1.4.5.5 DIRECTRICES GENERALES DE AMARRA

Las consideraciones de los principios de la distribución de la cargas en el punto 1.4.5.4 guía las siguientes directrices de amarra. Esto asume que el buque amarrado puede estar expuestos a fuertes vientos o corrientes de cualquier dirección.

- Las líneas de amarra serán dispuestas tan simétricamente como sea posible con respecto al punto medio del buque. (Una distribución simétrica es más adecuada para asegurar una buena distribución de la carga que una distribución asimétrica.)
- Las líneas de través serán orientada tan perpendiculares como sea posible a la línea longitudinal del centro del buque (Línea de crujía) y tan lejos hacia proa y popa como sea posible.
- Las líneas de spring serán orientada tan paralelas como sea posible a la línea longitudinal del centro del buque (Línea de crujía).

Las líneas largas de proa y la popa normalmente no son eficientes en la sujeción del buque en el muelle. Las instalaciones de amarra con buenas líneas de través y líneas spring permiten al buque estar amarrado con mayor eficiencia, virtualmente “dentro de su propia longitud”. El uso de espías largas de proa y popa requiere dos postes de amarra adicionales y disminuyen la eficiencia de sujeción total, de

un modelo de amarra cuando el número de líneas disponibles es limitado. Esto es debido a su gran longitud y consiguiente mayor elasticidad y mala orientación. Ellas deben ser utilizadas cuando sea requerida para propósitos de maniobras, o sean necesarias por la geometría local del muelle, las fuerzas de viada o condiciones climáticas. Obviamente, los buques pequeños amarrados en instalaciones diseñadas propiamente para grandes buques pueden tener espías largas a proa y popa debido a la geometría del muelle.

- El ángulo vertical de las líneas de amarras debería mantenerse a un mínimo.

Mientras más plano es el ángulo de amarra, más eficiente será la línea para resistir las cargas aplicadas horizontalmente en el buque.

Una comparación de los casos 1 y 3 en la Figura 1.4.5-4 demuestra que un buque puede normalmente ser amarrado más eficientemente dentro de su propia longitud, minimizando la carga en cualquier línea individual.

- Generalmente, líneas de amarra del mismo tamaño y tipo (material) deben ser usados para todas las amarras. Si esto no es posible debido a la disponibilidad de los equipos, todas las líneas en el mismo servicio, es decir, las líneas de través, líneas spring, las líneas largas, etc. debe ser del mismo tipo y tamaño. Por ejemplo, todas las líneas spring podrían ser de alambre y todas de las líneas de través sintéticas.

Las primeras líneas enviadas a tierra pueden ser líneas sintéticas, aun cuando las líneas de amarra principales son de alambre. Esto es aceptable, siempre y cuando se tenga en cuenta que las líneas de fibra no se agregarán a la capacidad de sujeción final del sistema a menos que todas las líneas en ese grupo sean del mismo material.

- Si se utilizan colas en las líneas de alambres, el mismo tipo y tamaño de colas será usado en todas las líneas ocupadas en el mismo servicio.

Las colas sintéticas se utilizan a menudo en los extremos de las líneas de alambre para permitir un manejo más fácil y para aumentar la elasticidad de la línea. El aumento de una cola de nylon de 11 metros incrementaría la elasticidad de una línea de alambre de 45 metros de largo por cinco a seis veces.

- Las líneas de amarre debe ser distribuidas de manera tal que todas las líneas en el mismo servicio sean aproximadamente de la misma longitud entre el winche del

buque y las bitas de tierra. La elasticidad de las líneas varía directamente con la longitud de la línea y las líneas más cortas asumirán más carga.

#### 1.4.5.6 CONSIDERACIONES OPERACIONALES

Las directrices de amarra antes mencionadas fueron desarrolladas para optimizar la distribución de las cargas en los sistemas de amarras. En la práctica, la selección final de los esquemas de amarra para un muelle también debe tener en cuenta la operación local y las condiciones de tiempo, la geometría muelle y buque de diseño. Algunos prácticos, por ejemplo, prefieren líneas largas a proa y popa para ayudar a los buques en sus movimientos al atraque o desatraque de un muelle, mientras otros pueden usar líneas spring para éste propósito. Las líneas de proa y popa pueden tener ventajas en los muelles donde los puntos de amaras están demasiado cercanos al buque y las líneas de través no pueden ser usadas en buena forma, o cuando las bitas están localizadas de tal forma que las líneas spring tienen un ángulo vertical excesivo en la condición de descargado. Estos ángulos excesivos resultarían en una capacidad de retención considerablemente reducida.

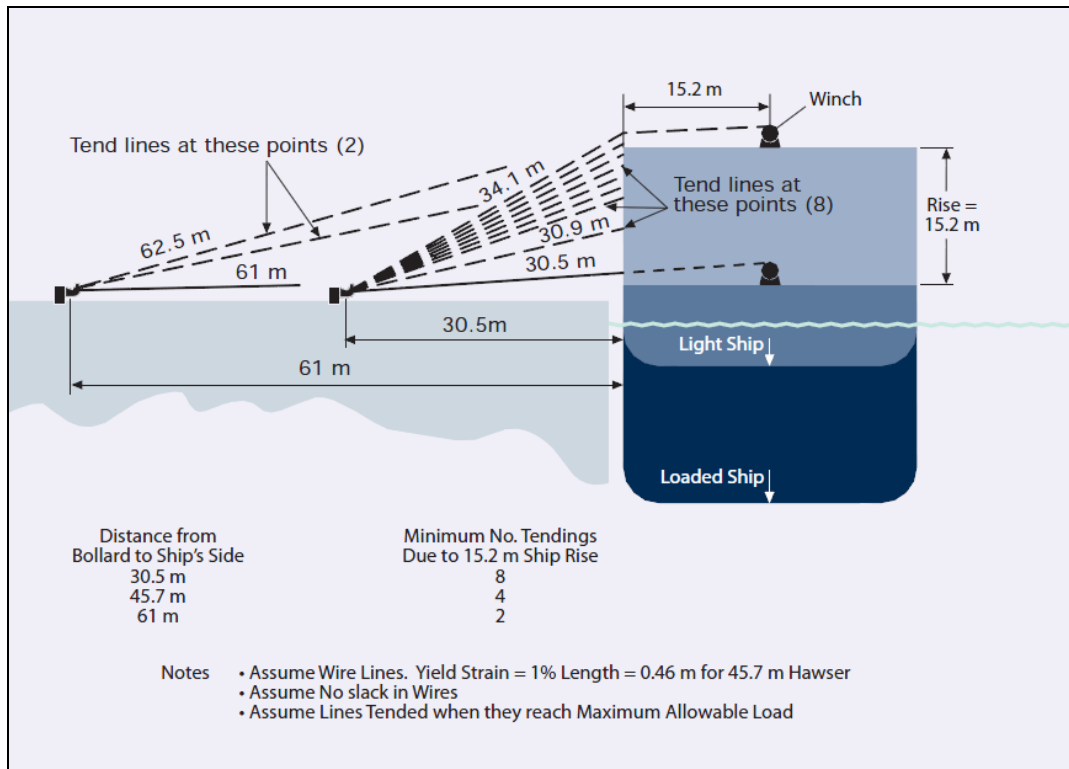
Los fuertes vientos y las corrientes desde ciertas direcciones pueden hacer conveniente tener una distribución de amarras asimétrica. Esto podría significar el colocar más líneas de amarra o líneas de través en un extremo del buque.

El otro factor a considerar es la óptima longitud de las amarras. Sería deseable mantener todas las líneas a un ángulo vertical menor de 25°. Por ejemplo, si la ubicación de las bitas en el buque está a 25 m por encima del punto de amarre en tierra, el punto de amarra debería estar a lo menos 50 m horizontalmente desde la bita del buque.

Las líneas largas tienen ventajas tanto desde el punto de vista de la eficiencia de las tensiones y el tendido. Pero, cuando son usadas amarras de fibra la mayor elasticidad puede ser una desventaja al permitir que el buque se mueva excesivamente, poniendo así en peligro los brazos de carga. Figura 1.4.5-7 ilustra los efectos de las longitudes de línea en los requerimientos de tendido.



**Figura 1.4.5-7: Efectos de la longitud de las líneas en los requerimientos de tendido**



Fuente: Mooring Equipment guidelines. OCIMF

### 1.4.5.7 GESTIÓN DEL SISTEMA DE AMARRA DEL TERMINAL

Una buena gestión en las amarras requiere la aplicación de los principios seguros, equipo bien mantenidos, personal capacitado y, lo más importante, la adecuada coordinación e interacción entre el buque y tierra.

Si bien la seguridad del buque y por lo tanto su amarra adecuada es la principal responsabilidad del Capitán, el terminal, debido a su conocimiento del ambiente operativo en el lugar y su equipamiento, estaría en la mejor posición para advertir al Capitán sobre el esquema de las líneas de amarra a tener en cuenta y las limitaciones operativas.

Las responsabilidades y modalidades para el control recíproco de las amarras, la transferencia de carga y otros los aspectos de la interfaz de buque - tierra están cubiertos por la lista de verificación buque – tierra.

Los equipo de amarra de los buques tanque existentes varía ampliamente, desde líneas de amarra sintéticas, amarras mixtas (cuerdas sintéticas y líneas de alambre), todas las amarras de alambre (con y sin colas sintéticas) a modernos sistemas sintéticos " de alta resistencia". Capacidades nominales de freno, ubicación de winches y gateras puede variar significativamente de un buque a otro. Tripulaciones de los buques que tendrían diferentes grados de experiencia en asuntos de amarras y filosofías diferentes en materia de mantenimiento y / o sustitución de elementos críticos de equipo de amarra.

El terminal puede utilizar una serie de conceptos en la moderna gestión de amarre para reducir la posibilidad de que los buques se suelten. Estos son:

- Elaborar directrices para la amarra segura de los buques para las condiciones ambientales operativas existentes en el terminal.
- Obtener información del buque antes de su llegada relativa a los equipos de amarra del buque.
- Examinar los equipos de amarra del buque, después del atraque para determinar qué modificaciones, si la hubiera, se debe hacer a los procedimientos habituales en vista del estado de mantenimiento, formación de la tripulación, etc.
- Inspeccionar el tendido de las líneas periódicamente ya sea visualmente o por medio de la instrumentación de los ganchos de amarra.
- Tomar cualquier acción que considere apropiada como asegurar la paralización de la transferencia de la carga, desconexión de los brazos de carga y desatraque del buque del muelle, estas acciones evitarían que el buque fallara en tomar las medidas adecuadas para garantizar la seguridad de amarra.

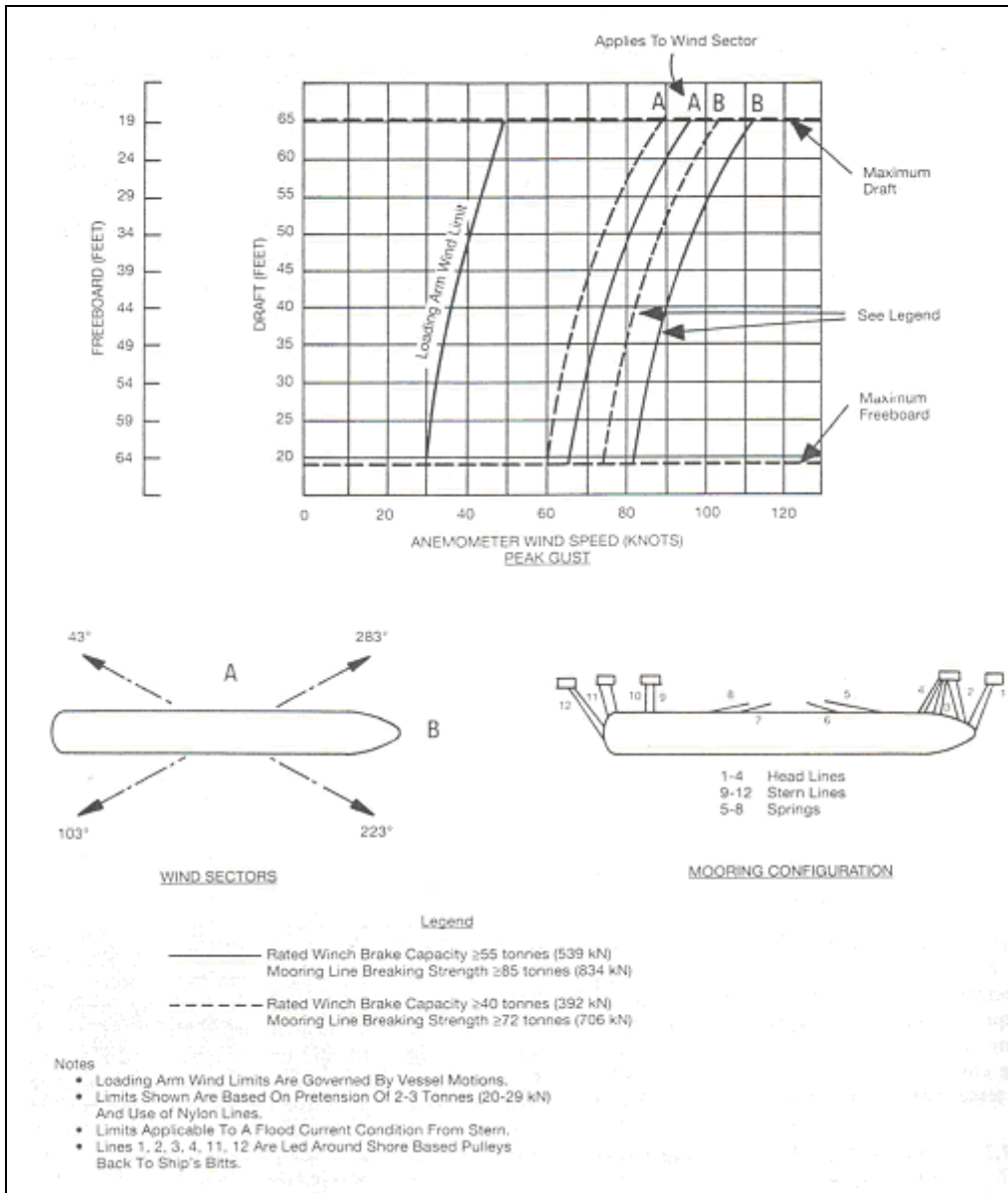
#### **1.4.5.8 LÍMITES OPERACIONALES**

Otro aspecto importante en la sujeción de un buque a un muelle es el movimiento del buque. No hay fórmulas sencillas que puedan ser ofrecidas para el movimiento del buque, aunque esto está generalmente incluido en los resultados de los cálculos computacionales. El movimiento del buque debido a las cargas medioambientales puede exceder los límites operativos del brazo de carga antes que los límites de resistencia en las líneas de amarra sean alcanzados. De manera similar estos límites y los requisitos se pueden aplicar a las pasarelas, particularmente en los equipos basados en tierra que incorporan una torre o una larga pluma desde el muelle al buque. Esto es especialmente verdadero para los sistemas de línea de sintéticas. Ante el empeoramiento de las condiciones medioambientales, los brazos de carga y pasarelas puede tener que ser desconectados, en condiciones de menor viento y corriente que aquellos usados como base de diseño para el sistema de amarra.

#### **1.4.5.9 DIRECTRICES DE OPERACIÓN Y LÍMITES DE AMARRA**

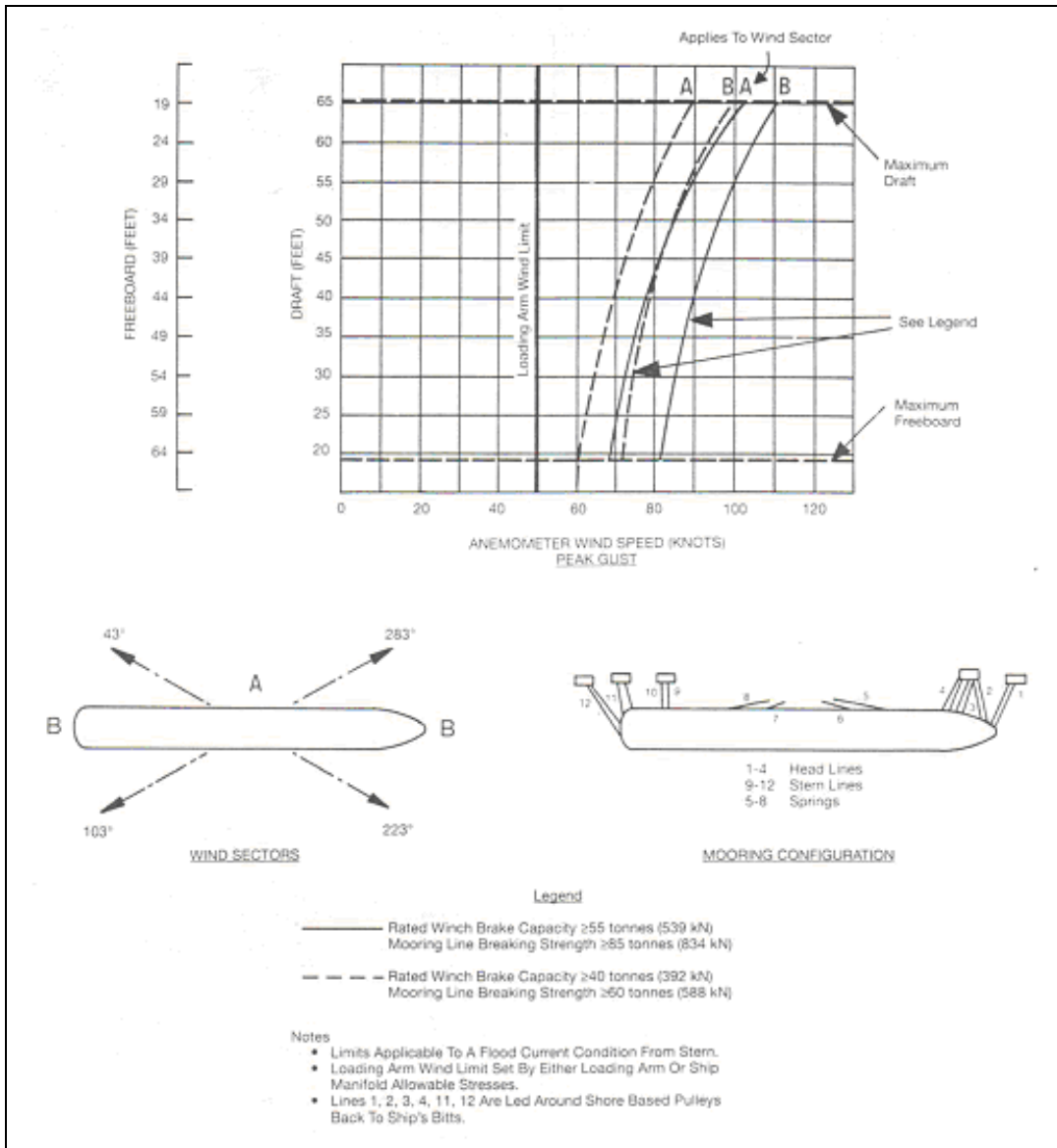
En el pasado, las directrices de operación generalmente habían sido desarrolladas empíricamente. Con el advenimiento de computadoras y la mayor precisión de los coeficientes de viento y corriente, las directrices pueden ser desarrolladas sistemáticamente las cuales pueden proveer los límites para varias clases de buque con diferentes capacidades de amarras. En instalaciones que están situadas en climas donde las condiciones medioambientales no son benignas, es preferible tener estas directrices confeccionadas.

**Figura 1.4.5-8: Límites de viento operacionales para petroleros de 250.000 DWT con todos los cabos de amarra de Nylon**



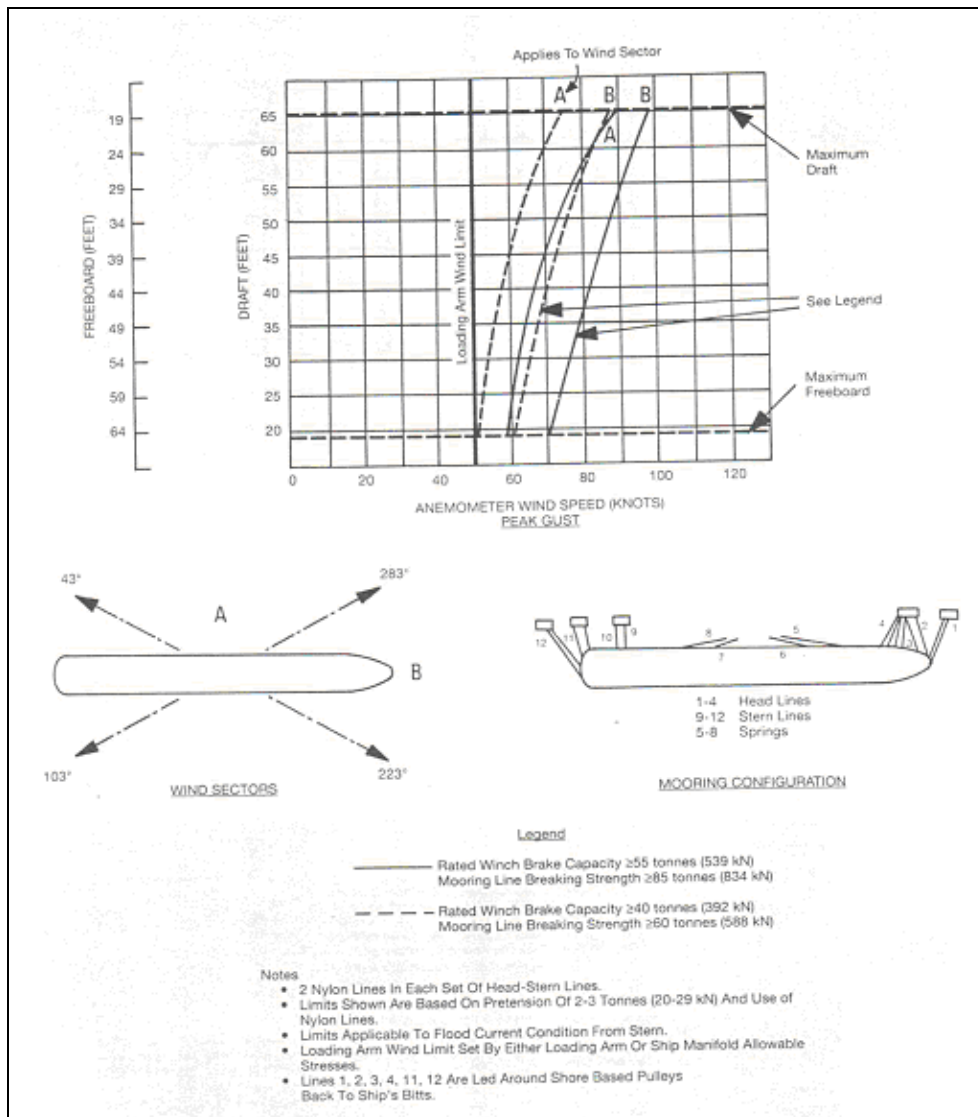
Fuente: Mooring Equipment guidelines. OCIMF

**Figura 1.4.5-9: Límites de viento operacionales para petroleros de 250.000 DWT, con todas las líneas de amarra de alambre**



Fuente: Mooring Equipment guidelines. OCIMF

**Figura 1.4.5-10: Límites de viento operacionales para petroleros de 250.000 DWT, con amarras mixtas**



Fuente: Mooring Equipment guidelines. OCIMF

Numerosos terminales han elaborado información para ser utilizada por sus operadores como directrices. Ejemplos del tipo de información que sería valioso para un operador de muelle para la amarra de petroleros de 250kdwt se muestran en las Figura 1.4.5-8, Figura 1.4.5-9 y Figura 1.4.5-10. Estos ejemplos son para las configuraciones de amarra como se muestran en las figuras y para diferentes intensidades de viento, sólo un viento y para la corriente de marea. Se han desarrollado para los siguientes sistemas de amarra: líneas de nylon, líneas de alambres y amarras mixtas de alambre y nylon.

La inclusión del caso de amarras mixtas como un ejemplo no debe interpretarse como una aprobación de este sistema. Otros lugares probablemente tengan otros criterios en los que basar los límites de operación.

Con 18 líneas de nylon La Figura 1.4.5-8 muestra que en francobordo máximo (o mínimo calado) los brazos de carga deben ser desconectados a una velocidad de viento de aproximadamente 30 nudos como máxima racha. A medida que el calado aumenta, la velocidad permitida del viento aumenta hasta 50 nudos como racha máxima. Los límites de los brazos de carga son regidos por el movimiento del buque. Para las capacidades de freno de los winches que se muestran y para las direcciones del viento que se indican, las cargas en las líneas de amarras llegan a ser excesivas en al menos en una línea a los calados y velocidad del viento indicadas por las curvas.

Para el caso de 18 líneas de alambre con colas, la Figura 1.4.5-9, los límites de viento para el brazo de carga es constante a 50 nudos de máxima ráfaga. Este límite no es tanto una función del movimiento del buque como de los niveles de tensión admisible en el brazo o manifold de los buques. Velocidades de viento permitidas para amarrar son como se muestran.

La Figura 1.4.5-10 muestra una situación de amarra mixta donde 14 líneas de alambre y cola y 4 líneas amarra de nylon son usadas como se indica. En este caso como en el caso de líneas sólo de alambre, los límites de viento para los brazos de carga son establecidos por las tensiones en los brazos o en el manifold del buque. Sin embargo, una comparación de las dos figuras muestra que hay una marcada reducción en las velocidades del viento que puede ser absorbido por el sistema de amarras mixtas de alambre y cuerdas.

Las limitaciones anteriores pueden ser creadas para diferentes combinaciones de viento y corriente, calado del buque, combinaciones de líneas de amarras y las configuraciones y diferentes capacidades de diseño de los frenos de los winches del buque. La información así obtenida puede ser utilizada para numerosos propósitos:

- Para decidir si un tipo de buque puede o no ser amarrado a un muelle determinado bajo las condiciones de un tiempo esperado.
- Para determinar cuándo suspender la transferencia de carga y desconectar los brazos de carga.
- Asesorar al buque cuando sería conveniente tomar lastre para reducir su francobordo.
- Asesorar al buque cuando sería conveniente tener remolcadores disponibles para ayudar a mantener la posición del buque en el muelle.

#### **1.4.5.10 REUNIÓN INSPECCIÓN CONJUNTA TERMINAL / BUQUE**

Tan pronto como sea posible después del ataque, se recomienda que los terminales tengan su representante a bordo del buque para establecer contacto con el capitán o su representante designado. En esta reunión el representante del terminal proporcionará información concerniente a las instalaciones en tierra y sus procedimientos. Además, el deberá en conjunto con el Representante del buque:

- Completar la lista de verificación de seguridad buque – tierra en línea con la orientación dada en ISGOTT y, cuando sea apropiado, controlar físicamente los ítems antes de marcarlo.
- Obtener detalles de las amarras y winches, incluyendo el estado de mantenimiento.
- Revisar el pronóstico de tiempo y coordinar para que el Capitán sea avisado de cualquier cambio esperado.
- Evaluar las limitaciones de francobordo.
- Evaluar el tipo y la condición del equipo de amarra del buque y su capacidad de lastre.
- Determinar las condiciones a las cuales la transferencia de carga serán paralizadas y los brazos de carga y las mangueras serán desconectadas y las precauciones a tener en cuenta bajo situaciones de alta tensión en las amarras.



#### 1.4.5.11 GANCHOS DE AMARRA CON INSTRUMENTOS O INSPECCIÓN VISUAL DE LAS LÍNEAS DE AMARRAS

El terminal debe monitorear la actividad del tendido de las amarras del buque por medio de inspección visual de las líneas de amarras, particularmente durante la transferencia de carga y los períodos de cambio de las condiciones ambientales.

Además de lo anterior, y dependiendo del medioambiente físico del muelle, puede ser preferible instalar aparatos de medición de tensión en las líneas de amarra cuando ha sido identificado la apropiada necesidad. Este equipamiento ya está disponible y ha sido instalado en numerosos muelles para grandes petroleros y en muchos muelles para GNL. Mide la tensión de las líneas y tiene un centro de lectura en la sala de control de operaciones del terminal. En caso que las tensiones de las líneas lleguen a ser altas o que las líneas lleguen a estar sueltas, el operador del terminal puede avisar al buque como corresponde.

En muchos terminales la información de tensión de las amarras es transmitido a un tablero fijo abordo o tablero portátil para el acceso directo del personal del buque. En cualquier caso, el terminal debe inspeccionar líneas periódicamente. Si se observa que el personal del buque ha tendido líneas inadecuadamente, el terminal deberá notificar al buque.

#### 1.4.6 REQUERIMIENTOS DE ALZADO<sup>15</sup>

Nota: La profundidad de agua necesaria para un buque de diseño se puede determinar de acuerdo a las recomendaciones españolas ROM 3.1-99, a las recomendaciones PIANC, Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan o por medio de la modelación matemática de buque atracado.

En general, dependiendo de las condiciones naturales del lugar de proyecto y especialmente de los movimientos del buque producto del oleaje, se recomienda analizar el requerimiento de la profundidad de agua por varios métodos, incluyendo la modelación matemática, aplicando finalmente el más conservador.

---

<sup>15</sup> ROM 3.1-99 Proyecto de la Configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación. Parte 7. Requerimientos en Alzado. Puertos del Estado. España 2000.

#### 1.4.6.1 INTRODUCCIÓN

La profundidad de agua y las distancias máximas y mínimas aéreas necesarias 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 anteriormente indicados en la presente Guía. 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 las distancias máximas y mínimas aéreas 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 áreas de navegación y flotación.

El procedimiento para determinar las profundidades de agua y las distancias máximas y mínimas aéreas sigue los criterios generales anteriormente indicados en esta Guía, 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.

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 distancias máximas y mínimas aéreas 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).

- Las distancias máximas y mínimas 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.
- Se pondrá especial atención a los efectos de erosión que pueden causar las hélices principales y las hélices laterales cuando son usadas con exceso de potencia en o cerca del sitio de atraque, lo que se tomará en consideración en la determinación del UKC y de la necesaria protección del fondo marino.

#### **1.4.6.2 DETERMINACIÓN DE PROFUNDIDAD DE AGUA**

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 (H1).
- El nivel del Agua que se considere y los factores que afectan a su variabilidad (H2), que determinarán el plano de referencia para emplazar el buque.
- Los márgenes de seguridad que se establezcan para prevenir un contacto del buque con el fondo. La valoración de estos márgenes de seguridad se incluye dentro del bloque de Factores H3.

El primer bloque de factores ( $H_1$ ), ver Figura 1.4.6-1, 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.

### 1.4.6.3 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 ( $BMVE$ <sup>16</sup> corregido por variaciones meteorológicas del nivel de las aguas en áreas 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 sólo 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

<sup>16</sup> BMVE: Bajamar Máxima Viva Equinoccial

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 área 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 Figura 1.4.6-1.

**Figura 1.4.6-1: Factores que intervienen en la determinación de las profundidades de agua en las áreas de navegación y flotación**

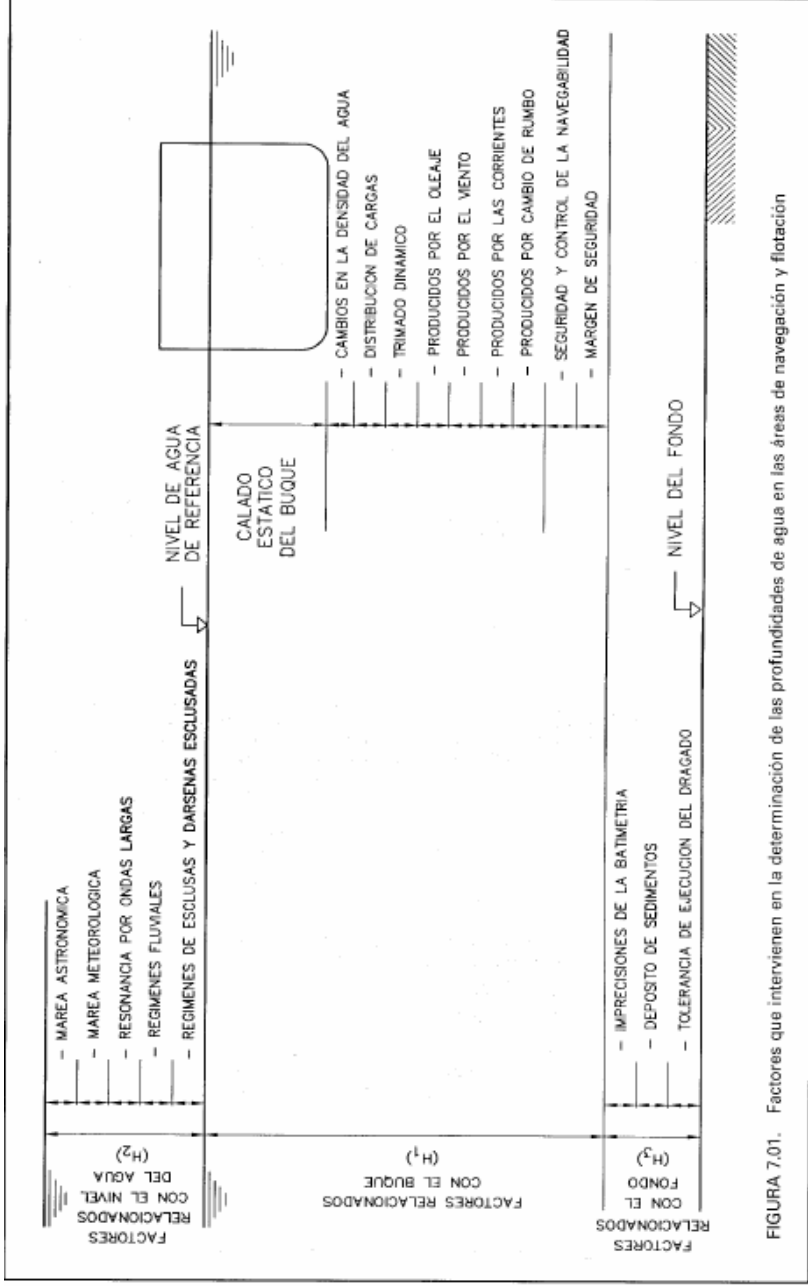


FIGURA 7.01. Factores que intervienen en la determinación de las profundidades de agua en las áreas de navegación y flotación

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 7

## 1.4.6.4 FACTORES RELACIONADOS CON EL BUQUE

### 1.4.6.4.1 CALADO ESTÁTICO DE LOS BUQUES

El calado estático de los buques  $D_e$  se determinará para flotación en agua de mar que pueda operar en la instalación según las condiciones previstas de explotación de la misma; en el supuesto 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 sólo 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 (por ejemplo, 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 1.4.4-1, obteniéndose a partir de ellas sus valores característicos con los criterios que se establecen en la sección 1.4.4.1. Estas dimensiones características así determinadas

podrán ser utilizadas tanto a efectos de estudios determinísticos como semi probabilísticos, 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, graneleros, etc.) puede suponerse que, en cualquier condición de carga, se mantiene constante el coeficiente de bloque [desplazamiento/ (eslora entre perpendiculares  $\times$  manga  $\times$  calado  $\times \gamma_w$ )]. Para otros tipos de buques se supondrá que el coeficiente de bloque del buque se mantiene constante para cualquier condición de carga comprendida entre 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.

#### 1.4.6.4.2 CAMBIO 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 semi probabilísticos.



#### 1.4.6.4.3 SOBRE CALADO POR DISTRIBUCIÓN 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 sobre calados debidos a escoras por carga irregular o desplazamientos de cargas, que se analizarán conforme se indicó en el párrafo tercero de la sección 1.4.6.4.1.

Estos sobre calados 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 semi probabilísticos, 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 sobre calado correspondiente. En caso de considerarse condiciones de carga parcial se incorporarán a los criterios de explotación los sobre calados máximos admisibles por distribución de cargas.

#### 1.4.6.4.4 TRIMADO DINÁMICO O “SQUAT”

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 el 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 sobre calado, 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.

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 el 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 Figura 1.4.6-2), que cubren la totalidad de los supuestos de interés para las áreas de flotación que se analizan en este Capítulo. 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:

$$d_1 = 2,4 \cdot \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \cdot \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \cdot K_s \quad (1-7)$$

Donde:

- $d_1$  : Valor máximo del trimado dinámico, m.
- $\nabla$  : Volumen del desplazamiento del buque, m<sup>3</sup>.
- $L_{pp}$  : Eslora entre perpendiculares del buque, m.

$F_{nh}$  : Número de Froude, adimensional:

$$F_{nh} = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (1-8)$$

Donde:

$V_1$  : 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 (para zonas sin restricciones laterales se tomará  $K_s = 1,0$ ). Para su determinación se emplearán las expresiones siguientes:

$$K_s = 7,45 \cdot s_1 + 0,76 \quad \text{para } s_1 > 0,032$$

$$K_s = 1,00 \quad \text{para } s_1 \leq 0,032$$

$$s_1 = \frac{A_b}{A_c} = \frac{1}{K_1} \quad (1-9)$$

Donde:

$A_b$  : Área de la sección transversal principal de la obra viva del buque,  $m^2$ .

$\approx 0,98 \times B \times D$  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

---

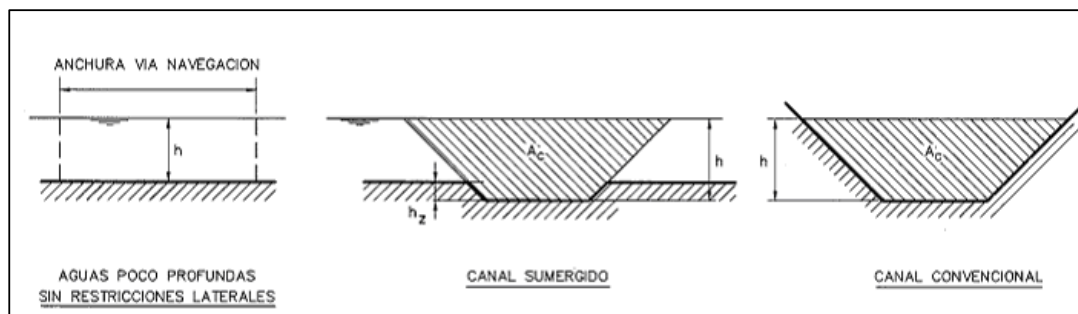
configurada por la prolongación de los taludes de los cajeros hasta la superficie de agua.

$K_1$  : Factor de corrección, función de  $A_b/A_c$  y  $h_z/h$  (Ver Figura 1.4.6-3).

$h_z$  : Profundidad de la zanja dragada referida al nivel medio del fondo, m. Ver Figura 1.4.6-2.

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.

**Figura 1.4.6-2: Secciones transversales tipo de vías navegables para el cálculo de trimado dinámico**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 7

Para la determinación de la velocidad  $V$ , 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

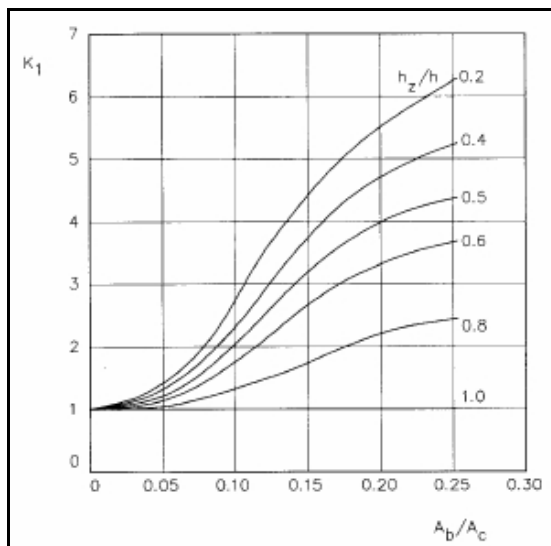
calados en fase de proyecto se considerarán los valores máximos de la velocidad que fijen las citadas normas de operación, o que se establezcan precisamente a consecuencia del proyecto que se realice; en el supuesto de que estas normas consideren velocidades diferentes según tipos y dimensiones de los 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:

**Tabla 1.4.6-1: Valores máximos de la velocidad absoluta de los buques**

	m/s	Nudos
<b>Áreas exteriores</b>		
• Navegación por vías de aproximación		
Largas ( $\geq 50 L_{pp}$ )	4,0 – 7,5	8 – 15
Cortas ( $< 50 L_{pp}$ )	4,0 – 6,0	8 – 12
• Navegación de acceso a fondeaderos	1,0 – 1,5	2 – 3
• Navegación por canales de acceso	3,0 – 5,0	6 – 10
• Navegación de acceso a áreas de maniobra	2,0 – 3,0	4 – 6
• Navegación de acceso a áreas de atraque	1,0 – 1,5	2 – 3
• Cruce de entradas/salidas de puertos	2,0 – 4,0	4 – 8
<b>Áreas interiores</b>		
• Navegación de acceso a fondeaderos	1,0 – 1,5	2 – 3
• Navegación por canales	3,0 – 5,0	6 – 10
• Navegación de acceso a áreas de maniobra	2,0 – 3,0	4 – 6
• Navegación de accesos a dársenas, muelles y atraques	1,0 – 1,5	2 – 3

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 7

**Figura 1.4.6-3: Factor de correlación para el cálculo del trimado dinámico**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 7

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 (por ejemplo, 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.

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 semi probabilísticos.

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 o 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 (~ 8 nudos).

- *Navegación en curva o con ángulo de deriva.* En la actualidad no se conocen investigaciones que permitan cuantificar la trascendencia 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.

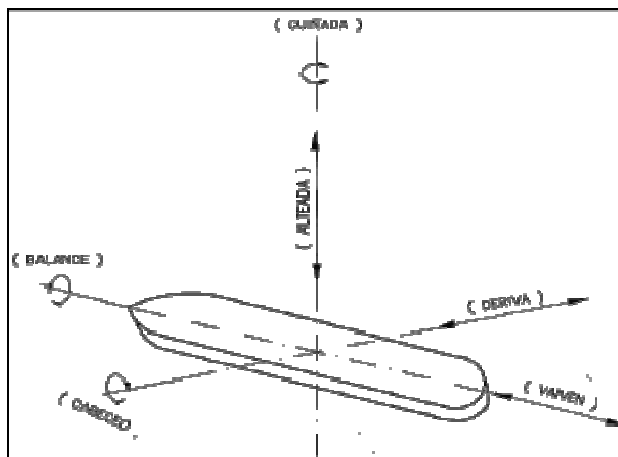
#### 1.4.6.4.5 MOVIMIENTOS DEL BUQUE PRODUCIDOS POR EL OLEAJE

Los efectos del oleaje sobre el buque se analizaron con carácter general en el apartado 1.2.2.4; en este apartado se estudian específicamente los movimientos verticales de un buque. Alteada, cabeceo y balance (ver Figura 1.4.6-4) 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.



Figura 1.4.6-4: Movimientos del buque



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 7

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 1.4.6-2 (No aplicables a embarcaciones con  $L_{pp} < 60$  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 semi probabilístico, 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.

Para el caso de embarcaciones con  $L_{pp} < 60$  m no puede establecerse una correlación tan simple como la recogida en la tabla anterior, pudiendo formularse los criterios siguientes. Ver Figura 1.4.6-4.

**Tabla 1.4.6-2: Movimientos verticales del buque debido a la acción del oleaje**

Eslora del buque ( $L_{pp}$ en m)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
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

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 7

- 1) La altura de la 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 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, el cual se obtiene de las ROM 3.1-99 Parte 7.

En el caso de que se efectúen estudios semi probabilísticos 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:

$$f(\mu, N_w) = 0,707 \cdot \left[ \text{Ln} \left( \frac{N_w}{(1-\mu)^{-1}} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1-10)$$

Donde:

Ln: Logaritmo neperiano (o natural) del término a que acompaña.

Para  $N_w$  se tomará el número de olas esperables 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 1.4.6-2 están determinados para buques cargados.

(Desplazamientos  $\geq 1,50 \times$  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.

Coeficientes obtenidos de las Recomendaciones Españolas, ROM 3.1-99 Parte 7.

4) La corrección en función de la velocidad se determinará multiplicando los valores de la Tabla por los factores siguientes:

- Número de Froude  $\leq$  0,50 : 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 período reducido actuando sobre buques de gran eslora. En estos casos podrían utilizarse valores menores basados en estudios específicos de detalle.

Coeficientes obtenidos de las Recomendaciones Españolas, ROM 3.1-99 Parte 7.

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

Coefficientes obtenidos de las Recomendaciones Españolas, ROM 3.1-99 Parte 7.

6) La influencia de la dirección de actuación del oleaje se determinará multiplicando los valores de la Tabla 1.4.6-2 por los factores siguientes:

- Ángulo entre el eje longitudinal del buque y la dirección del oleaje  $\leq 15^\circ$ : 1,00.
- Ángulo entre el eje longitudinal del buque y la dirección del oleaje =  $35^\circ$ : 1,40.
- Ángulo entre el eje longitudinal del buque y la dirección del oleaje =  $90^\circ$ : 1,70.
- Ángulos comprendidos entre  $15^\circ$  y  $35^\circ$ : interpolación lineal entre 1,00 y 1,40.
- Ángulos comprendidos entre  $35^\circ$  y  $90^\circ$ : interpolación lineal entre 1,40 y 1,70.

Coefficientes obtenidos de las Recomendaciones Españolas, ROM 3.1-99 Parte 7.

7) Para los valores intermedios de la eslora del buque se interpolará linealmente entre intervalos.

8) En el supuesto de que intervengan varios factores de corrección se utilizará como multiplicador de los valores de la Tabla 1.4.6-2 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 ( $L_{pp}$  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 1.4.6-2. 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 límites de operación establecidos para el diseño. Ver Tabla 1.2.1-6. 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.

#### 1.4.6.4.6 ESCORAS DE BUQUES POR LA ACCIÓN DEL VIENTO

La actuación del viento sobre el buque produce movimientos de escora que dan lugar a sobre calados  $d_v$  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 Figura 1.4.6-5 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:

$$\tan \theta_{TV} = \frac{F_{TV} \cdot d_{vd}}{\gamma_w \cdot (I - \nabla d_{bg})} \quad (1-11)$$

Donde:

- $\theta_{TV}$  : 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:

**Error! Objects cannot be created from editing field codes.** (1-12)

- $\nabla$  : 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:

$$d_{bg} = KG - D \left( 0,84 - \frac{0,33 \cdot C_b}{0,18 + 0,87 \cdot C_b} \right) \quad (1-13)$$

- 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 sobre calado debido a este balance se determinará para buques de casco plano mediante la expresión:

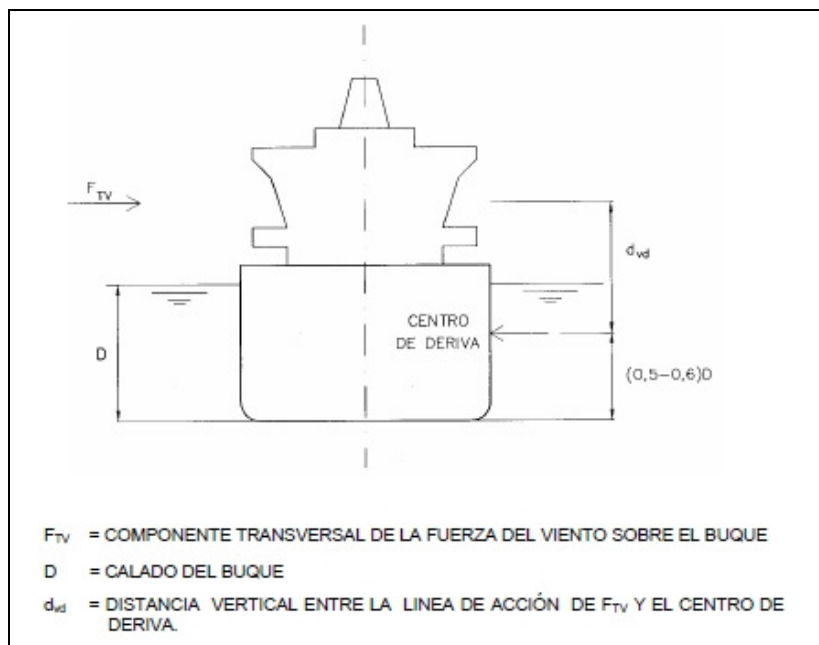
$$d_v = \frac{B \cdot \text{sen} \theta_{TV}}{2} \quad (1-14)$$



Pudiendo adoptarse este valor como característico tanto en estudios determinísticos como semi probabilísticos, dada la pequeña cuantía del mismo.

El valor de  $F_{TV}$  se evaluará con los criterios establecidos en el Capítulo 1.2.2.1, 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.

**Figura 1.4.6-5: Esquema de fuerzas generadoras de escoras por acción del viento**



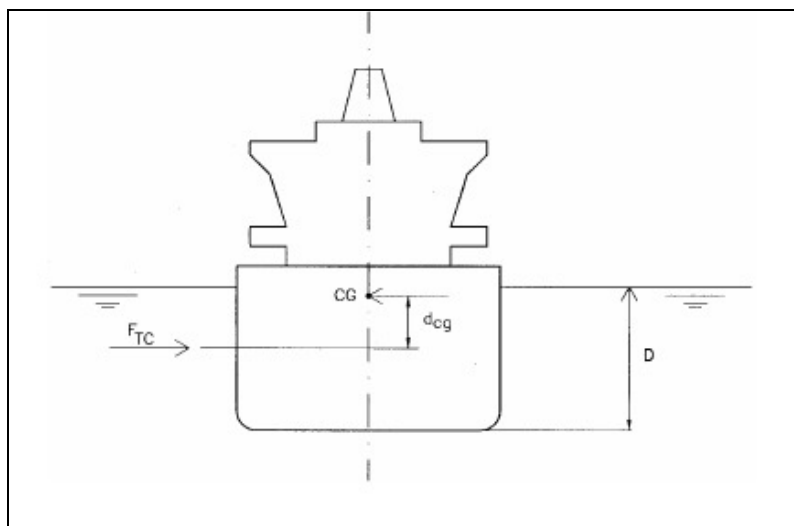
Fuente: ROM 3.1-99 Parte 7

#### 1.4.6.4.7 ESCORAS DE BUQUES POR LA ACCIÓN 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 sobre calados 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 Figura 1.4.6-6. Este efecto, que es prácticamente 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.

**Figura 1.4.6-6: Esquema de fuerzas generadoras de escoras por acción de la corriente.**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 7

Donde:

$F_{TC}$  : Componente transversal de la fuerza de la corriente sobre el buque.

D : Calado del buque.

$d_{cg}$  : Distancia vertical entre la línea de acción de  $F_{TC}$  y el centro de gravedad del buque.

Nota: Este efecto sólo se produce cuando se altera la situación de equilibrio permanente debido a la presencia de corrientes de actuación variable.

La cuantificación de este giro para buques en navegación puede realizarse mediante la fórmula siguiente:

$$\tan \theta_{TC} = \frac{F_{TC} \cdot d_{cg}}{\gamma_w (I - \nabla d_{bg})} \quad (1-15)$$

Donde:

$\theta_{TC}$  : 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.

$\gamma_w$  : 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 siguiente valor:

$$I = \frac{\pi \cdot L_{pp} \cdot B^3}{64} \quad (1-16)$$

Donde:

- $\nabla$  : 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:

$$d_{bg} = KG - D \left( 0,84 - \frac{0,33 - C_b}{0,18 + 0,87 \cdot C_b} \right) \quad (1-17)$$

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 crujía.

El sobre calado  $d_c$  debido a estos balances se determinará para buques de casco plano mediante la expresión:

$$d_c = \frac{B \cdot \text{sen} \theta_{TC}}{2} \quad (1-18)$$

Pudiendo adoptarse este valor como característico tanto en estudios determinísticos como semi probabilísticos, dada la pequeña cuantía del mismo.

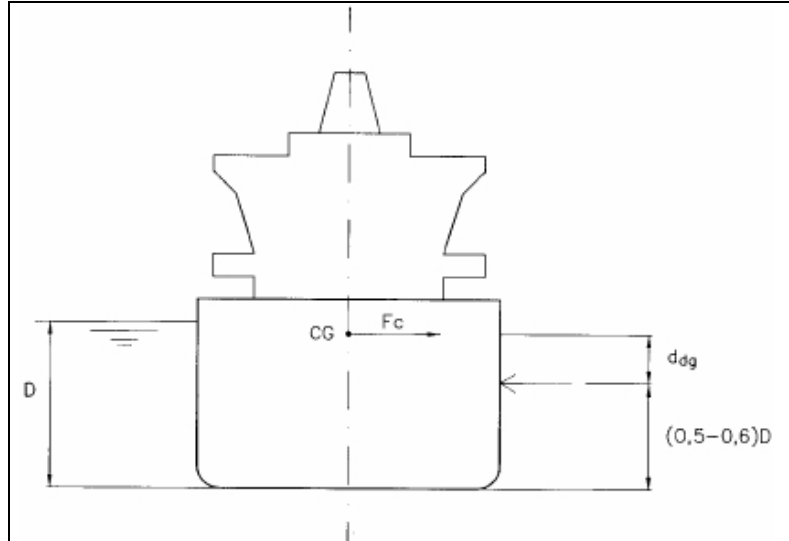
El valor de  $F_{TC}$  se evaluará con los criterios establecidos en el Capítulo 1.2.2.1, aplicándolos a las velocidades relativas de la corriente que se correspondan con las que se establezcan como límites de operación en el caso que se considere.

#### 1.4.6.4.8 ESCORAS DE BUQUES 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 Figura 1.4.6-7.

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.

**Figura 1.4.6-7: Esquema de fuerzas generadoras de escoras por cambio de rumbo**



Fuente: ROM 3.1-99 Parte 7

Donde:

$F_c$  : Fuerza centrífuga.

$D$  : Calado del buque.

$d_{dg}$  : Distancia vertical entre el centro de deriva y el centro de gravedad.

Nota: No se considera la fuerza transversal aplicada sobre la pala del timón..

La cuantificación de este giro de balance puede realizarse mediante la fórmula siguiente:

$$\tan \theta_{CR} = \frac{F_c \cdot d_{dg}}{\gamma_w (1 - \nabla d_{bg})} \quad (1-19)$$

Donde:

$\theta_{CR}$  : Ángulo de balance del buque ocasionado por la fuerza centrífuga.

$F_c$  : Fuerza centrífuga =  $M V_L^2 / R_c$ .

$M$  : Masa del buque que comprende la masa propia y la masa de agua movilizada con él (ver ROM 3.1-99 apartado 3.9).

$V_L$  : Componente de la Velocidad absoluta del buque, en el sentido longitudinal a la trayectoria.

$R_c$  : Radio de curvatura de la trayectoria del buque.

$\gamma_w$  : 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  $d_{dg}$  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:

$$d_{dg} = KG - D \cdot \left( 0,84 - \frac{0,33 \cdot C_b}{0,18 + 0,87 \cdot C_b} \right) \quad (1-20)$$

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:

$$I = \frac{\pi \cdot L_{pp} \cdot B^3}{64} \quad (1-21)$$

El sobre calado debido a este balance se determinará para buques de casco plano mediante la expresión  $d_r$ .

$$d_r = \frac{B \cdot \text{sen } \theta_{CR}}{2} \quad (1-22)$$

Pudiendo adoptarse este valor como característico tanto en estudios determinísticos como semi probabilísticos, dada la naturaleza de las variables que intervienen en su evaluación.

#### 1.4.6.4.9 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 1.4.6-3, en los que se ha supuesto que siempre se cuenta con el Margen de Seguridad  $rv_{sd}$ , 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 1.4.6.4.11).

Estos valores se tomarán como característicos tanto si el estudio se realiza por métodos determinísticos como semi-probabilísticos.



#### 1.4.6.4.10 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 1.4.6-3 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 como se especifica en la presente guía.

A efectos de la aplicación de los criterios de la Tabla 1.4.6-3 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 capítulo 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 particular se desee adoptar precauciones adicionales de seguridad al respecto, se recomienda adoptar condiciones de operación más restrictivas para determinados tipos de buques (por ejemplo, velocidad límite del viento más reducido), en lugar de incrementar las exigencias de un mayor calado.

**Tabla 1.4.6-3: Resguardo para seguridad y control de la maniobrabilidad del buque ( $r_{v_{sm}}$ ) y margen de seguridad ( $r_{v_{sd}}$ )**

RESGUARDOS PARA SEGURIDAD Y CONTROL DE LA MANIOBRABILIDAD DEL BUQUE ( $r_{v_{sm}}$ ) Y MARGEN DE SEGURIDAD ( $r_{v_{sd}}$ )			
	$r_{v_{sm}}$	$r_{v_{sd}}$	$r_{v_{sm}} + r_{v_{sd}}$
1. Buques de gran desplazamiento (>30.000 t)			
- 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
2. Buques de mediano y pequeño desplazamiento ( $\leq 10.000$ t., excepto embarcaciones menores, deportivas y pesqueros)			
- Navegación sobre fondos limosos o arenosos			
* velocidad del buque no limitada ( $\geq 8$ nudos)	0.30 m	0.30 m	0.60 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
- 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
3. Buques de desplazamientos comprendidos entre 10.000 y 30.000 t. Interpolación linealmente en función del desplazamiento indicado en los apartados 1 y 2			
4. Embarcaciones menores, deportivas y pesqueros			
- Navegación sobre fondos limosos o arenosos			
* Velocidad del buque no limitada (> 8 nudos)	0.20 m	0.20 m	0.40 m
* velocidad del buque limitada ( $\leq 8$ 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

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 7

#### 1.4.6.4.11 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 1.4.6.5) se efectuarán las valoraciones siguientes, tomándose la más desfavorable de las dos:

Determinación en la crujía del buque:

$$H_1 = D_e + d_s + d_g + d_t + 0,7 \cdot d_w + rv_{sm} + rv_{sd} \quad (1-23)$$

Determinación en las bandas de babor o estribor del buque:

$$H_1 = D_e + d_s + d_g + d_t + d_w + d_v + d_c + d_r + 0,7 \cdot rv_{sm} + rv_{sd} \quad (1-24)$$

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  $H_i$  asociados a los buques más desfavorables (Buque de Diseño). Para los estudios realizados por métodos semi probabilísticos los valores de  $H_i$  dependerán de las probabilidades de excedencia del oleaje máximo ( $\mu$ , según Nota 1 de Tabla 1.4.6-3), 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 área que se analice, según el procedimiento general descrito en el Capítulo 2 de la presente Guía, 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  $H_i$ .

#### 1.4.6.5 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:

#### 1.4.6.5.1 MAREAS ASTRONÓMICA

Las mareas son los ascensos y descensos rítmicos diarios del nivel del mar. Particularmente la marea astronómica es creada por el efecto gravitacional de la luna y el sol (principalmente, pese a que influyen otros astros) sobre la tierra. La visión más familiar para un observador en la costa es la de ascensos y descensos del nivel del mar dos veces al día. Las mareas también generan corrientes de marea que interactúan con el fondo para producir turbulencia, lo que de acuerdo a su intensidad pueden permitir estratificación o mezcla en toda la columna.

El análisis de la marea puede descomponerse en un análisis armónico y otro no armónico.

El análisis no armónico consta en identificar una serie de planos de la marea, algunos de ellos son:

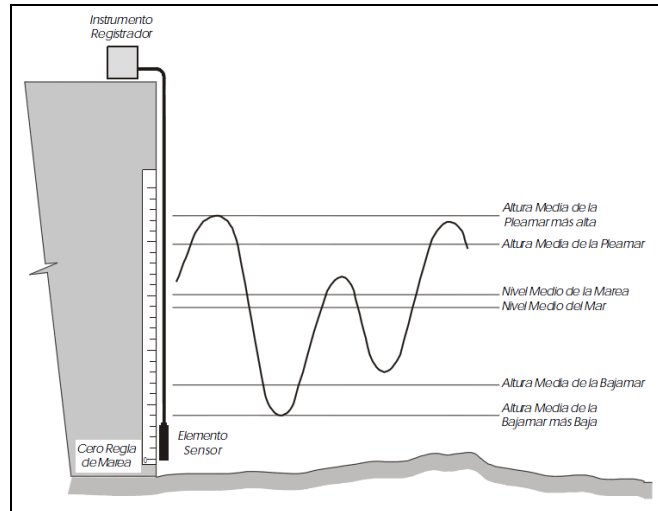
- Altura media de la pleamar más alta.
- Altura media de la pleamar.
- Nivel medio de la marea.
- Altura media de la bajamar.
- Altura media de la bajamar más baja.

La metodología para desarrollar el análisis no armónico de mareas debe ser el expuesto en la Publicación 3202 del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA). No obstante, la publicación señalada podrá ser complementada con otras de la institución referidas a la temática señalada.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> Para el desarrollo del siguiente acápite además de las publicaciones del SHOA se utilizaron 2 documentos:  
1) "Introducción a las series de tiempo para oceanografía y geo-ciencias" (Manuel Contreras, 2001)

**Figura 1.4.6-8: Principales planos de la marea**



Fuente: Publicación 3202 del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada

El análisis armónico de marea es el método basado en la suposición que el movimiento de ascenso y descenso de la marea en un lugar cualquiera, puede ser expresado matemáticamente como la sumatoria de una serie de términos armónicos que cumplen ciertas condiciones astronómicas. Las constituyentes de la marea se presentan en la Tabla 1.4.6-4.

Si la tierra y la luna tuvieran la misma masa, rotarían alrededor de un centro común de masa que se ubicaría en el punto medio entre ambos. Pero ya que la tierra tiene una masa 80 veces mayor que la de la luna, el centro de masa se ubica dentro de la tierra, aproximadamente a 1.600 km bajo la superficie terrestre a lo largo de la línea proyectada entre la tierra y la luna. La rotación de los dos cuerpos se produce sobre este punto.

Se generan producto de la rotación, dos protuberancias de agua en la superficie de la tierra. De esta manera, es posible explicar cómo se presentan dos pleamar y dos bajamar (marea semi diurna) en la mayoría de los sitios de la tierra durante el transcurso de un día lunar (un día lunar es el tiempo de rotación de la tierra con respecto a la luna, igual a 24,84 horas. La mitad de esta (12,42 h) corresponde a la componente principal de la marea lunar semi diurna denominada M2).

La rotación de la luna alrededor de la tierra, además de presentar una declinación variable respecto del ecuador, describe una órbita elíptica cuyo ciclo dura 27,55 días. El punto de la elipse donde la luna se encuentra más cerca de la tierra se llama perigeo y donde se encuentra más lejos es el apogeo. Consecuentemente durante el perigeo lunar se presentarán mareas más altas que durante el apogeo.

El efecto del sol es equivalente a 0,46 veces el efecto de la luna. Éste actúa principalmente por superposición al efecto de la luna en el ciclo sicigias cuadraturas. Al poner los tres cuerpos celestes en el mismo plano, situación ligeramente alejada de la realidad, se observa que durante un mes sinódico, o tiempo en que la luna completa una órbita con respecto al sol (29,53 días), la luna se encuentra alineada con el sol en dos oportunidades, durante luna nueva y luna llena. En esa situación las fuerzas de atracción de la luna y el sol se suman para generar las mareas de sicigias, o mareas más altas del mes, las que ocurrirán dos veces al mes cada 14,76 días. Cuando la luna se encuentra en una posición perpendicular a la línea tierra-sol, luna en cuarto menguante o cuarto creciente, ocurren las mareas de cuadraturas, o mareas más bajas del mes, también cada 14,76 días (Figura 1.4.6-9).

Figura 1.4.6-9: Mareas de sicigias y cuadraturas



Fuente: Archivo propio

Ya que las mareas del ciclo perigeo-apogeo tienen un período de 27,5 días, ligeramente inferior a dos ciclos sicigias-cuadraturas de 29,53 días, las sicigias más altas con la luna en el perigeo ocurrirán cuando ambas estén en fase.

El cálculo de predicción de la marea se realiza a partir de las mediciones existentes, las que se descomponen en constituyentes sinusoidales. Existen tres categorías de constituyentes:

- Semi diurnas, con períodos alrededor de 12 horas.
- Diurnas, con períodos alrededor de 24 horas.
- De largo período, mayores de 24 horas.

La Tabla 1.4.6-4 presenta los constituyentes armónicos de la marea.

**Tabla 1.4.6-4: Constituyentes armónicas de la marea**

Constituyente	Nombre	Frecuencia (cph)	Periodo
<b>Componentes de largo periodo</b>			
Quincenal lunar	Mf	0,003050	13,66 días
Mensual lunar	Mm	0,001512	27,56 días
Semi anual solar	Ssa	0,000228	182,75 días
Quincenal luni-solar	MSf	0,002821	14,77 días
Solar anual	Sa	0,000114	365,50 días
<b>Componentes diurnas</b>			
Declinación luni-solar	K1	0,041781	23,93 horas
Diurna lunar principal	O1	0,038731	25,79 horas
Diurna solar principal	P1	0,041553	24,07 horas
Elíptica lunar mayor	Q1	0,037219	26,87 horas
Elíptica lunar 2° orden	NO1	0,040269	24,83 horas
Elíptica lunar pequeña	J1	0,043293	23,10 horas
Declinación lunar 2° orden	OO1	0,044831	22,31 horas
Radiacional	S1	0,041667	24,00 horas
<b>Componentes semi diurnas</b>			
Lunar principal	M2	0,080511	12,42 horas
Solar principal	S2	0,083333	12,00 horas
Elíptica lunar mayor	N2	0,789990	12,66 horas
Declinación luni-solar	K2	0,835610	11,97 horas
Eveccional lunar mayor	v2	0,079202	12,63 horas
Variación lunar	μ2	0,077689	12,87 horas
Elíptica lunar menor	L2	0,082024	12,19 horas
Elíptica solar mayor	T2	0,083219	12,02 horas
Elíptica lunar 2° orden	2N2	0,077487	12,91 horas
Eveccional lunar menor	λ2	0,081821	12,22 horas

Fuente: Introducción a las series de tiempo para oceanografía y geo-ciencias (Manuel Contreras López, 2001)



Aunque se requieren 20 o más constituyentes para predecir la marea con exactitud, las cuatro constituyentes más importantes son:

- Lunar semidiurna M2 período= 12,42 horas.
- Solar semidiurna S2 período= 12,00 horas.
- Lunisolar diurna K1 período= 23,93 horas.
- Lunar principal diurna O1 período= 25,82 horas.

La amplitud de la M2 es aproximadamente dos veces la amplitud de las otras tres.

El factor de forma  $F = [K1 + O1] / [2 + S2]$  usualmente se utiliza para caracterizar la marea.

- Cuando  $0,25 < F < 1,25$  la marea es mezclada, principalmente semi diurna.
- Cuando  $1,25 < F < 3,00$  la marea es mezclada principalmente diurna.
- Cuando  $F > 3$  La marea es diurna.
- Cuando  $F < 0,25$  la marea es semi diurna.

Para el desarrollo de un análisis armónico de mareas se puede tomar como guía las referencias señaladas además de una serie de documentos que plasman la metodología para el desarrollo de análisis armónico cómo por ejemplo “Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T TIDE” de Rich Pawlowicza, Bob Beardsleyb & Steve Lentzb.

En Chile, los valores de la marea astronómica varían considerablemente, en función de la localidad que se esté analizando. Siendo una generalidad que desde la I a la IX región los rangos de marea típicos son entre 0,8 y 5 metros. En cambio, en las regiones más al sur estos valores alcanzan incluso los 8 metros y más de rango de marea.

#### **1.4.6.5.2 MAREA METEOROLÓGICA**

Se incluyen en este concepto los cambios en la altura de agua debido 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.

En Chile, existen zonas donde la marea meteorológica es predominante, como en otros donde es despreciable. Esto, depende principalmente de las condiciones naturales del sector, la geografía, etc. Un sector característico donde la marea meteorológica es predominante es en el sector de los fiordos al sur del país, donde los vientos son canalizados por la orografía del sitio y por el efecto generado en la marea por la presión atmosférica.

Considerando lo anterior, no es posible descartar o sobreestimar la marea meteorológica como factor preponderante en la determinación del nivel, por tanto, se recomienda analizar cada caso en particular, realizando comparaciones con la componente astronómica, con los registros de presión atmosférica y de vientos.

#### **1.4.6.5.3 RESONANCIAS POR FENÓMENOS 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.

El fenómeno de resonancia por efecto de las ondas largas puede causar grandes complicaciones en un proyecto y fundamentalmente en la operatividad, es por esto que debe considerarse. No obstante, es un campo de estudio que aún se encuentra en un

creciente desarrollo, por tanto se deben constantemente buscar referencias actualizadas sobre este tópico.

La resonancia portuaria es un fenómeno complejo que involucra un gran número de variables, que implica importantes efectos temporales, no lineales, y dispersivos que deben de ser tomados en cuenta a la hora es establecer una metodología integral para el análisis del fenómeno y sus efectos sobre instalaciones portuarias

#### **1.4.6.5.4 REGÍMENES FLUVIALES**

La temática referente a regímenes fluviales se desarrolla en el acápite 2.5.2.2 “Desembocaduras en Costas Expuestas al Oleaje”.

No obstante lo anterior, se debe tomar además como base las Publicaciones pertinentes del SHOA.

#### **1.4.6.5.5 ESCLUSAS Y DÁRSENAS 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 previsible de tráfico y el costo de las esperas que puedan presentarse.

#### 1.4.6.5.6 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 extremales más bajos previsible. A este criterio de diseño corresponde seleccionar estos niveles mínimos extremales, en los casos en los que las variaciones máximas del nivel del agua, medidas como diferencia entre los niveles extremales 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<sup>18</sup>, dado que podría conseguirse una economía significativa con una pequeña merma de operatividad.

#### 1.4.6.5.7 CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN DEL NIVEL DE AGUA DE REFERENCIA Y DE LA PROFUNDIDAD DE AGUA REQUERIDA

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 área de navegación o flotación que se analice quede fuera de servicio para los buques mayores que se consideren.

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 área permanece fuera de servicio que podrá determinarse inmediatamente si se han elaborado curvas o si se dispone de los

<sup>18</sup> Accesos, vías de navegación, canales, entradas/salidas, áreas de maniobras.

Áreas de buques en permanencia = Fondeaderos, amarraderos, dársenas, muelles. Atracaderos, terminales, etc.

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 área permanece fuera de servicio, que también podrá analizarse con facilidad si se elaboran gráficos 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 área permanece fuera de servicio, para lo cual será necesario conocer la función de frecuencia de presentación o régimen de duraciones de la variable “tiempo inactivo continuado”.

Conviene hacer notar que en el caso de tratarse de áreas 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. En cambio, la marea meteorológica debe analizarse y si es un factor preponderante se deberá hacer una proyección en el tiempo de la misma.

Para casos más complejos en los que puedan existir varias causas que afectan a los niveles del agua (mareas astronómicas, mareas meteorológicas y regímenes fluviales) será necesario disponer de los regímenes medios anuales, mensuales y de duración, con objeto de poder cuantificar los parámetros de inoperatividad citados anteriormente en función del nivel de agua adoptado; en estos casos y si la variación del nivel de agua fuera no predecible con anticipación conllevando riesgo, se precisaría desarrollar estudios más sofisticados dada la multiplicidad de variables que intervendrían en la valoración de los espacios ocupados por los buques.

El nivel de agua de referencia que se seleccione para emplazar el buque no tiene por qué ser único para todos los tipos de buques y todas las condiciones de operación; obviamente pueden conseguirse los mismos requerimientos de niveles mínimos ocupados por los buques adoptando criterios diferentes según los casos (por ejemplo, los buques más desfavorables operan con mayores niveles de agua asociados a las mareas o con oleajes más reducidos); es decir, la suma de factores puede Interpretarse en el sentido de determinar el nivel más bajo para los buques más desfavorables en las condiciones límites de operación, o en el de determinar a partir del nivel más bajo prefijado, cuáles sean los límites de operación para los diferentes tipos de barcos. La selección del Nivel de agua de referencia y en consecuencia la determinación de la

---

profundidad nominal de agua del área que se considere es consecuencia de un análisis económico y de operatividad adecuado a las características específicas de cada caso.

#### 1.4.6.6 FACTORES RELACIONADOS CON EL FONDO

Para que la profundidad nominal de agua requerida en un área de navegación o flotación pueda quedar garantizada, se precisa tomar en consideración la suma de los factores siguientes ( $H_3$ ).

##### 1.4.6.6.1 MARGEN PARA IMPRECISIONES DE LA BATIMETRÍA

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 0,25m en aguas interiores, pueden considerarse los márgenes siguientes:

Tabla 1.4.6-5: Márgenes para imprecisiones de batimetría

	Con sistemas de compensación de oleaje	Sin sistemas de compensación de 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

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 7

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.

#### **1.4.6.6.2 DEPÓSITO 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.

#### **1.4.6.6.3 TOLERANCIA DE EJECUCIÓN 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.

### 1.4.6.7 PROCEDIMIENTOS EMPÍRICOS

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  $H_f$  en función de las características del área de flotación que se analice y del calado  $C$  del buque que se considere.

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.

**Tabla 1.4.6-6: Márgenes de seguridad  $H_f$**

	$H_f$
Antepuertos, fondeaderos y vías de navegación exteriores. Entradas/salidas 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 $C$

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 7



#### 1.4.6.8 MANUALES DE OPERACIÓN

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.

#### 1.4.7 DISTANCIAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS SOBRE ÁREAS DE FLOTACIÓN

La determinación de las distancias máximas y mínimas aéreas necesarias en las diferentes áreas 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 determinar en 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 sí que se dispone de estadísticas de puentes construidos sobre áreas de navegación que permiten correlacionar el espacio aéreo disponible con la profundidad de agua existente en la zona. Sin que por otra parte se conozca 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 las distancias máximas y mínimas exentas 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 área podrá ser operable por buque de mayores dimensiones.

**Tabla 1.4.7-1: Nivel medio de las aguas en condiciones de operación para áreas de buques en tránsito o permanencia**

Características de la zona	NMO
A. Zonas sin corrientes	
- Sólo marea astronómica	NM
- Marea astronómica y meteorológica	NM + 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
D. Dársenas esclusadas	Estudio de detalle
<p>NMO : Nivel medio de operación de las aguas libres exteriores</p> <p>NM : Nivel Medio del mar = <math>(PMVE + BMVE) / 2</math></p> <p>NMF : Nivel medio de la corriente fluvial = <math>(NME + NMI) / 2</math></p> <p>PMVE : Pleamar máxima viva equinoccial.</p> <p>BMVE : Bajamar mínima viva equinoccial</p> <p>NME : Nivel medio de estiaje en corrientes fluviales</p> <p>NMI : Nivel medio de los máximos anuales en corriente fluviales</p> <p>A<sub>PMVE</sub> : Semi amplitud de onda correspondiente a la PMVE</p> <p>A<sub>BMVE</sub> : Semi amplitud de onda correspondiente a la BMVE</p>	

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 7

**Tabla 1.4.7-2: Nivel Máximo de las aguas exteriores para estudios de distancias máximas y mínimas y drenajes**

Características de la zona	$N_{maxO}$
<p>A. Zonas con marea astronómica significativa (<math>UA &gt; 0,50</math> m)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sin régimen fluvial</li> <li>* Sólo marea astronómica</li> <li>* Mareas astronómicas y meteorológica</li> <li>- Con régimen fluvial</li> <li>* Sólo marea astronómica</li> <li>* Mareas astronómicas y meteorológica</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><math>PMVE</math></p> <p style="text-align: center;"><math>PMVE + 0,50</math> m</p> <p>Máximo extremal. Riesgo = 0,10</p> <p>Máximo extremal. Riesgo = 0,10</p>
<p>B. Zonas con marea astronómica no significativa (<math>UA &lt; 0,50</math>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sin régimen fluvial</li> <li>* Sólo marea astronómica</li> <li>* Mareas astronómicas y meteorológica</li> <li>- Con régimen fluvial no significativo (<math>N_{max}RH - N_{min}RH &gt; 1,00</math> m)</li> <li>* Sólo marea astronómica</li> <li>* Mareas astronómicas y meteorológica</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><math>NM + 0,50</math> m</p> <p style="text-align: center;"><math>NM + 1,00</math> m</p> <p>Máximo extremal. Riesgo = 0,10</p> <p>Máximo extremal. Riesgo = 0,10</p>
C. Esclusas	Nivel aguas arriba
D. Dársenas esclusadas	Máximo extremal. Riesgo = 0,10
<p><math>N_{maxO}</math> : Nivel máximo de las aguas libres exteriores en condiciones de operación</p> <p><math>NM</math> : Nivel Medio del mar = <math>(PMVE + BMVE) / 2</math></p> <p><math>PMVE</math> : Pleamar máxima viva equinoccial.</p> <p><math>BMVE</math> : Bajamar mínima viva equinoccial</p> <p><math>N_{max}RH</math> : Nivel extremal esperable de los máximos anuales del régimen fluvial asociado a un riesgo admisible.</p>	

Fuente: ROM 3.1-99 Parte 7

El esquema recomendado para calcular las distancias máximas y mínimas exentas es el siguiente:

- 1) Determinar el nivel medio de operación  $NMO$  de las aguas.
- 2) Determinar la profundidad de agua  $h$  correspondiente a este  $NMO$ , 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) Evaluar el espacio aéreo  $a$  asociado a esta profundidad de agua con los criterios siguientes:
  - Tránsito de buques de cualquier tipo (excepto cruceros de pasaje):  $a = 5h$  ( $a_{max} = 60$  m).
  - Tránsito de buques cruceros de pasaje:  $a = 7h$ , ( $a_{max} = 70$  m).
  - Tránsito de buques veleros:  $a = 10h$ , ( $a_{max} = 50$  m).

Los valores máximos de  $a$  recogidos en las expresiones anteriores ( $a_{max}$ ) se refieren a los buques recogidos en la Tabla 1.4.4-1.

- 4) Determinar el nivel máximo de las aguas existentes en condiciones de operación  $N_{max}O$ , con los criterios recogidos en la Tabla 1.4.7-2.
- 5) Contabilizar el espacio aéreo  $a$  por encima del nivel máximo del agua ( $N_{max}O$ ) definido en el apartado anterior.
- 6) 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.

Las distancias máximas y mínimas exentas deberían quedar situadas a la cota:

$$N_{max}O + a + \text{Margen de seguridad} \quad (1-25)$$

Donde:

$N_{max}O$  : Nivel máximo de las aguas libres exteriores en condiciones de operación.

$a$  : Espacio aéreo asociado a esta profundidad de agua con los criterios siguientes:

$$= \begin{cases} 5h & a_{max} = 60 \text{ m} & \text{Tránsito de buques comerciales de cualquier tipo} \\ 7h & a_{max} = 70 \text{ m} & \text{Tránsito de buques cruceros de pasaje} \\ 10h & a_{max} = 50 \text{ m} & \text{Tránsito de buques veleros} \end{cases}$$

En el supuesto que se adopten gálibos inferiores a los que aquí se recomiendan, se establecerán las limitaciones correspondientes en la norma de explotación del área de navegación o flotación de que se trate.

## 1.4.8 NIVELES DE CORONACIÓN 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 que se verán a continuación.

### 1.4.8.1 CRITERIOS DE EXPLOTACIÓN

El nivel de los muelles se establece en función del *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:  $\Delta > 10.000 \text{ t} = +2.50 \text{ m}$
- Buques de gran desplazamiento medio:  $10.000 \text{ t} \geq \Delta > 1.000 \text{ t} = +2.00 \text{ m}$
- Buques de pequeño desplazamiento:  $\Delta > 1.000 \text{ t} = +1.50 \text{ m}$   
(Excepto embarcaciones deportivas)
- Embarcaciones deportivas: Eslora  $> 12 \text{ m} = +1.00 \text{ m}$

- Embarcaciones deportivas: Eslora  $\leq 12$  m  $\Rightarrow + 0.50$  m

Para el caso de muelles de embarcaciones deportivas si la diferencia entre el *NMO* y el nivel mínimo de referencia para la determinación de las profundidades de agua, establecido en el apartado 1.4.6.5.6, 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-Ro si esta diferencia supera la cantidad de 2,0 m se recomienda la instalación de una rampa móvil.

#### 1.4.8.2 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 extremas de diseño asociado a un riesgo admisible de 0,1, nivel que se incrementará en un resguardo mínimo de 0,5 m.

La determinación de este nivel se realizará utilizando los regímenes extremos 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 1,0 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 considere 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.

#### 1.4.8.3 CRITERIOS DE NO REBASABILIDAD DEL NIVEL FREÁTICO EN EL TRASDÓS 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 0,5 m. por encima del nivel freático determinado en condiciones extremas de diseño asociadas a un riesgo admisible de 0,1.

#### **1.4.8.4 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 Tabla 1.4.7-2 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.



## 1.5 REMOLCADORES

### 1.5.1 FUNCIÓN DE LOS REMOLCADORES

Los remolcadores<sup>19</sup> 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 giro 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.

### 1.5.2 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.

---

<sup>19</sup> ROM 3.1-99 Proyecto de la Configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación. Parte 5. Acciones Externas Sobre el Buque. Puertos del Estado. España. 2000

- 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 súper tanques 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 contraincendios. Los remolcadores de altura y salvamento, además de su equipo propio de remolque, cuentan con instalaciones contraincendios 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 siniestrados y algunos remolcadores pueden hacer funcionar, por medio de sus elementos auxiliares, los motores principales de un buque siniestrado facilitándole aire y energía eléctrica para el arranque.

### 1.5.3 DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE REMOLCADORES

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.

Para la determinación de las necesidades de remolcadores en una maniobra se adoptan los siguientes criterios:

#### 1.5.3.1 MANTENIMIENTO EN POSICIÓN 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 1.2.2.1. 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 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 giro, una traslación hacia un muelle que admita o no la navegación de remolcadores por detrás de la línea de atraque, etc.

Cualquier otra especificación requerida sobre Remolcadores, se sugiere referirse a la Recomendación de Obras Marítimas Españolas específicamente a documento ROM 3.1-99.

## 1.6 MANIOBRABILIDAD DE BUQUES<sup>20</sup>

En general, el paso de un buque de la mar abierta al atraque en una terminal puede dividirse en tres frases. Esa división refleja el tipo de maniobras que han de realizarse, según la configuración de la zona costera de que se trate. La primera fase es la preparación para la maniobra, la segunda fase comprende la maniobra propiamente dicha de acceso al puerto, la desaceleración y la detención final y la tercera fase es la aproximación y el amarre al puesto de atraque. Al salir de un puerto los buques tienen que pasar por fases similares, pero a la inversa. La naturaleza de esas maniobras viene determinada por las velocidades típicas máximas y mínimas a las que pueden realizarse estos movimientos dentro de unos criterios de seguridad aceptables, por ejemplo, hay velocidades máximas y mínimas de entrada en el puerto a las que el buque podrá detenerse dentro del puerto sin tener que recurrir a una parada violenta.

Estas consideraciones llevan a la cuestión de las dimensiones horizontales y verticales del acceso al puerto y las zonas de maniobras. Las características de maniobras de los buques cuya inercia es considerable exigen mucho espacio para las maniobras en comparación con los buques corrientes. Esos buques requieren la ayuda de remolcadores cuando navegan a poca velocidad o por canales estrechos; habitualmente la eficiencia del remolcador aumenta a medida que disminuye la velocidad del buque. No hay que olvidar la posibilidad de que falle el servomotor del timón o la unidad de propulsión de los buques durante los movimientos en el puerto. Esos incidentes se producen durante las maniobras en el puerto con más frecuencia que en mar abierto debido a los cambios bruscos del régimen de los motores. Los efectos potenciales de esos fallos deberían reducirse la más posible, particularmente cuando se trata de cargas peligrosas, mediante una planificación adecuada del puerto.

La desviación de la trayectoria ideal en las maniobras en puerto puede deberse a muchos factores, uno de los cuales es el elemento humano. Al fijar las dimensiones de las zonas de tránsito y maniobra en el puerto deben tenerse en cuenta esa diversidad de las reacciones humanas.

En términos generales, las trayectorias reales seguidas por el buque depende de sus características de maniobras y del estado de las aguas por las que navega. A su vez estos factores influyen en las decisiones que se toman en el puente para seguir el buque

---

<sup>20</sup> Desarrollo portuario Manual de planificación para países en desarrollo. Segunda edición Nueva York. 1994

en las subsiguientes maniobras en el puerto la actividad de control comprende tres tipos diferentes de acciones a) mantener el rumbo; b) corregir prontamente las desviaciones respecto de la trayectoria deseada; e) evitar todo movimiento inestable del buque que pueda producir una pérdida de control de la dirección del buque. Los movimientos inestables del buque se deben a fenómenos de resonancia, que varían según los tipos y dimensiones de los buques. Los marineros pueden controlar algunas formas de resonancia, pero otras no se pueden controlar o no en forma suficiente. Por consiguiente, al planificar los accesos al puerto es muy importante investigar el comportamiento de los buques en condiciones que sean representativas de la zona costera de que se trate, siempre con objeto de garantizar la seguridad de la navegación al entrar y salir del puerto.

Evidentemente para el piloto de un buque es esencial disponer de información; por ejemplo, información sobre la posición del buque en relación con la trayectoria que debe seguir, información que permita coordinar los datos relativos a la vigilancia y/o dirección del tráfico en las zonas de navegación del puerto, e información sobre las condiciones ambientales (viento, visibilidad, oleaje, corrientes, mareas). El grado deseable y factible de integración de esos sistemas de información, el alcance, la exactitud y la fiabilidad de la información requerida, la densidad máxima del tráfico, así como las condiciones atmosféricas locales, determinan los tipos y la ubicación del equipo que ha de adquirirse.

Los nuevos métodos de estudio permiten la investigación sistemática de la dinámica de los movimientos y de las corrientes del tráfico marítimo. Esas investigaciones proporcionan datos básicos para determinar, entre otras cosas, los procedimientos a que han de atenerse los pilotos durante las maniobras en el puerto.

Con la introducción de modernos sistemas electrónicos de navegación, esos datos permiten la navegación segura y eficiente de los buques grandes y vulnerables al entrar y salir del puerto.

### **1.6.1 MANIOBRABILIDAD DE BUQUE**

Desde finales del decenio de 1960 se ha llevado a cabo en todo el mundo una labor considerable en materia de investigación y desarrollo para definir los factores y las relaciones que determinan la maniobrabilidad de un buque y su respuesta a sus propios sistemas de control en condiciones reales, tanto en mar abierto como en superficies de agua cerradas. El advenimiento de los grandes petroleros y graneleros ha servido de

acicate para esa labor, cuyos resultados se están aplicando en el diseño del casco y de los sistemas de control del buque, en la formación del personal, en la fijación de normas de navegación y de limitaciones operacionales, y en el diseño de canales y otras vías de navegación.

Considerando los factores que influyen en el comportamiento maniobrero del buque, las propiedades básicas del propio buque se denominan aquí características de maniobra del buque. Esas características están determinadas por el casco del buque, su masa, el sistema y las dimensiones del timón, el sistema de propulsión y la potencia de las máquinas; son las siguientes: a) la forma en que el buque responde al timón y a las variaciones de las revoluciones de la hélice; b) la capacidad de virada; e) la distancia que necesita el buque para detenerse.

La relación eslora/manga, y el coeficiente de afinamiento, junto con la relación manga/calado y la superficie del timón son los principales elementos que determinan las características de maniobra. Cuando el buque tiene relación manga/calado pequeña y un alto coeficiente de afinamiento necesita un tiempo relativamente largo para responder al ángulo de caña que se aplique; pero, una vez que el buque empieza a virar, su capacidad de virada es buena. Es evidente que esas características son importantes para la capacidad de maniobra de un petrolero en un canal. No obstante, es igualmente esencial la forma en que el piloto, en el puente, utilice esas características de maniobra para gobernar el buque.

En aguas encerradas, el tiempo necesario para que el buque responda al ángulo de caña aplicado puede reducirse gracias a una acción simultánea del timón y de la hélice, esta última sólo durante un tiempo breve para evitar que aumente la velocidad del buque. El efecto de esa maniobra es mayor cuando disminuye la velocidad del buque. En general, la estabilidad del rumbo indica en qué medida el buque responde a las perturbaciones externas. En aguas poco profundas, la estabilidad del rumbo tiende a ser mejor que en aguas profundas.

En aguas profundas el diámetro de giro a la velocidad de servicio y con un ángulo de caña de  $35^\circ$  varía considerablemente según los tipos de buques e incluso según los distintos buques de una misma categoría. Muchos buques portacontenedores tienen poca capacidad de maniobra, particularmente los portacontenedores contruidos, o concebidos originalmente, para navegar a velocidades de servicio elevadas de 26 o 27 nudos. Para esos buques el diámetro de giro es del orden de 6 a 8 esloras. El diámetro de giro de los grandes petroleros o graneleros de carga seca, a velocidades de servicio de 15 a 17 nudos, es del orden de 3 a 4 esloras, a veces incluso de menos de 3 esloras. El diámetro

de giro de los metaneros es en la mayoría de los casos de 2 a 2,5 esloras, lo mismo que el de muchos buques corrientes de carga general y polivalente.

Muchas veces la capacidad de virada a poca velocidad mejora gracias al uso de dos hélices o de hélices de empuje lateral (bowthrusters) o de una combinación de ambas. Ahora bien, esas medidas no son una solución contra una capacidad inadecuada de maniobra; por ejemplo, muchos buques portacontenedores están equipados con hélices gemelas, pero debido a la forma del casco, la distancia entre las hélices es tan pequeña en comparación con la eslora del buque que el momento de giro es virtualmente inexistente. Las hélices de empuje lateral son útiles para las operaciones de atraque y desatraque, pero a velocidades de 4 o 5 nudos particularmente pierden gran parte de su eficiencia.

Evidentemente, la distancia que un buque necesita para detenerse depende en gran parte de la relación entre la potencia en marcha atrás y la masa del buque. Además, la potencia en marcha atrás, expresada como fracción de la potencia instalada, varía según los sistemas y puede ir desde el 50 en un buque con turbina de vapor y hélice de palas fijas hasta el 100 en un buque de motor diesel y hélice de paso variable. Como consecuencia, la distancia  $D$  recorrida durante una detención violenta varía considerablemente, incluso si se expresa como función de la eslora del buque,  $L$ . En aguas profundas y partiendo de la velocidad de servicio, las cifras aproximadas son las siguientes: grandes petroleros y graneleros de carga seca ( $\geq 200.000$  TPM):  $D =$  de 15 a 20  $L$ ; buques portacontenedores:  $D =$  de 6 a 8  $L$ ; grandes metaneros:  $D =$  de 10 a 12  $L$ ; buques corrientes de carga general y buques polivalentes:  $D =$  de 4 a 7  $L$ .

El buque que está haciendo una maniobra de detención violenta tiene poco o ningún control sobre su trayectoria debido a la configuración del flujo junto al timón y por lo general se apartará mucho de la línea recta. La trayectoria efectiva es muy imprevisible. Puede mantenerse un cierto control de la trayectoria dando avance intermitentemente y metiendo caña para corregir el rumbo. No obstante, esa maniobra provoca inevitablemente un aumento de la distancia de detención.



## 1.6.2 EFECTO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones ambientales influyen poderosamente en las características de maniobra y el comportamiento de los buques. Esos efectos se dejan sentir, en particular:

- En aguas poco profundas: aumento de la resistencia, asentamiento de popa, escora, modificación de la respuesta al timón;
- Con oleaje y marejada: desviaciones de trayectoria estable o inestable, aumento de la resistencia, a veces reducción de la respuesta al timón;
- Con corrientes y vientos: movimientos de deriva.

Las corrientes o vientos de costado imprimen a los buques una deriva lateral. Para mantener el rumbo del buque, habrá que gobernar a un cierto ángulo respecto del rumbo teórico. Como ese ángulo de deriva tiene limitaciones prácticas, el fenómeno adquiere particular importancia en las maniobras en los puertos, tanto más que el efecto de las corrientes de costado aumenta cuando disminuye el calado bajo la quilla. El oleaje y la marejada influyen considerablemente en la estabilidad de rumbo y en los márgenes de desviación respecto de la trayectoria ideal cuando se navega por canales. Con todo, no cabe generalizar en lo que respecta a esos efectos, sino que hay que estudiarlos en cada situación, y por eso no se seguirán examinando aquí. Más adelante se mencionan las consecuencias que la respuesta del buque al oleaje y la marejada tienen para la profundidad teórica de los canales dragados.

La influencia de la profundidad del agua sobre el buque en movimiento se empieza a advertir a la profundidad de unas cuatro veces el calado del buque. La influencia comienza a ser importante a la profundidad aproximada de 1,5 veces el calado del buque. Así pues, por aguas poco profundas se entiende generalmente las vías navegables cuya profundidad es igual o inferior a 1,5 veces el calado del buque.

Un efecto importante de la poca profundidad del agua es el aumento del asentamiento de popa del buque, es decir el hundimiento resultante de la acción de las corrientes inversas a lo largo de los costados y bajo la quilla.

Los efectos de la poca profundidad del agua en las características de maniobra del buque son un aumento de la estabilidad de la trayectoria y una disminución de la eficacia del timón. Es decir, disminuirá la tendencia del buque a zigzaguear en torno a su trayectoria

ideal. Además, el radio de giro aumentará y será más lenta la respuesta al ángulo del timón. Al aumentar la resistencia en las aguas poco profundas disminuirá relativamente la distancia que necesita el buque para detenerse, aunque no en forma espectacular.

Un aspecto especial de los efectos de la poca profundidad del agua es la navegación sobre cieno de poca densidad (sedimentos en suspensión). En diversos puertos esos aspectos tienen consecuencias directas para su política de mantenimiento de los canales de acceso o normas de accesibilidad (Rotterdam, Shanghai, Bangkok, Paramaribo, Cayena). En general cabe afirmar que, al aumentar la eficacia del timón debido a la mayor velocidad de las hélices cuando se navega en aguas cenagosas, los movimientos dinámicos, como son los cambios de rumbo, se iniciarán más directamente, mientras que se necesitarán menos tiempo y menos espacio para su ejecución, debido a la acción amortiguadora del cieno.

Se señala a la atención del lector los trabajos del Subcomité de proyecto y equipo del buque, de la OMI, que ha venido examinando las características de maniobrabilidad, el asentamiento de popa, y las fuerzas hidrodinámicas en aguas poco profundas, y que ha preparado mucha información interesante.

### 1.6.3 GENERALIDADES<sup>21</sup>

A lo largo de los 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.).

---

<sup>21</sup> ROM 3.1-99 Proyecto de la Configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación. Parte 6. Navegación y maniobras de buques. Puertos del Estado. España. 2000

- 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 áreas de navegación y flotación objeto de este capítulo 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 interviene 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 el presente capítulo se ha optado por recoger estas maniobras más habituales; 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.

## **1.6.4 CURVAS EVOLUTIVAS**

### **1.6.4.1 DEFINICIÓN 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.

Para conocer más detalles respecto al presente tópico se sugiere revisar el capítulo 6.2.1 de la ROM 3.1-99.

#### **1.6.4.2    ANGULO DE DERIVA Y PUNTO GIRATORIO**

Si se consideran las distintas trayectorias descritas por diferentes puntos de un buque en plena evolución se ve que cada uno de ellos sigue una curva prácticamente concéntrica con la trayectoria recorrida por el centro de gravedad CG.

Para conocer más detalles respecto al presente tópico se sugiere revisar el capítulo 6.2.2 de la ROM 3.1-99.

#### **1.6.4.3    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.

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 sobre entiende que los valores indicados corresponden a una caída de  $90^\circ$ .

- 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.

Para conocer más detalles respecto al presente tópico se sugiere revisar el capítulo 6.2.3 de la ROM 3.1-99.

#### **1.6.4.4 VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE NAVEGACIÓN RELACIONADOS A 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 o 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 aporado y reduciéndose cuando está aproado; el efecto del asiento es por tanto desplazar la posición del punto giratorio hacia el extremo que cala más.

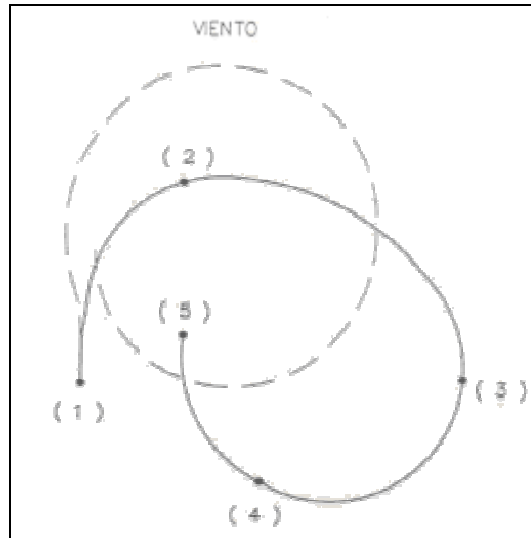
- 5) Tiempo de evolución: Para un mismo ángulo de timón la duración de la evolución disminuye al aumentar la velocidad. Para igual velocidad el tiempo se reduce al incrementar el ángulo de timón. Para completar una caída en el menor tiempo posible se deberá usar todo el timón a la banda y máxima velocidad.
- 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 buques 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  $90^\circ$  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  $90^\circ$ , 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) Ángulo 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  $35^\circ$  y grandes profundidades de agua el ángulo de deriva en el centro de gravedad del buque varía en general entre  $5$  y  $10^\circ$ , pero excepcionalmente puede alcanzar valores de  $15$  a  $20^\circ$ .
- 9) Rabeo de la popa en evoluciones: 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 crujía.



**Figura 1.6.4-1: Efecto del viento de proa sobre la curva evolutiva**



Fuentes: ROM 3.1-99 Parte 6

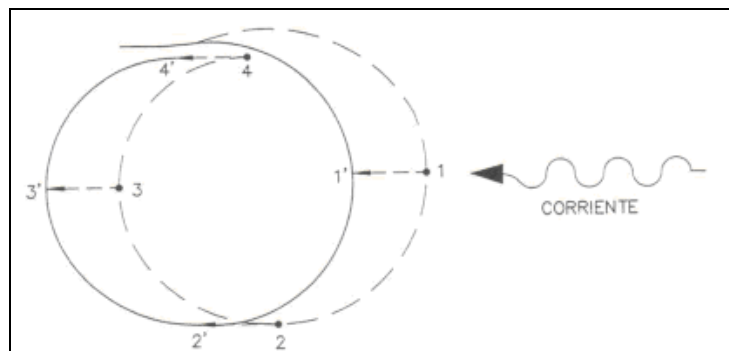
Suponiendo que se parta de un rumbo inicial con viento de proa (ver Figura 1.6.4-1), en general se experimentan las siguientes fases:

- 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 la 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 1.6.4-2. 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.

**Figura 1.6.4-2: Efecto de la corriente sobre la curva evolutiva**



Fuentes: ROM 3.1-99 Parte 6

Para conocer más detalles respecto al presente tópico se sugiere revisar el capítulo 6.2.4 de la ROM 3.1-99.

#### **1.6.4.5 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 aún entre buques similares, es muy corriente someter a tales pruebas, 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 de 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 la metodología propuesta en el capítulo 6.2.3 de la ROM 3.1-99.

#### **1.6.5 EXTINCIÓN NATURAL Y FORZADA DE LA ARRANCADA DEL BUQUE**

##### **1.6.5.1 DEFINICIÓN Y FACTORES QUE INFLUYEN**

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 cambie el sentido de empuje de las hélices para actuar en marcha atrás, se trataría de la extinción forzada.

Para conocer más detalles respecto al presente tópico se sugiere revisar el capítulo 6.3 de la ROM 3.1-99.

## 1.6.6 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.

### 1.6.6.1 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 más 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.

### 1.6.6.2 SEGUNDA FASE: SELECCIÓN 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.

### **1.6.6.3 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 aquéllas 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 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.

## 1.7 SIMULADORES MARÍTIMOS

Los simuladores marítimos se utilizan hoy en día más a menudo en el diseño de puertos; para verificar el ancho de los canales de navegación y accesos a puertos, determinar las áreas de maniobrabilidad para los buques de diseño y determinar el tiempo de utilización a través de la comprobación de los movimientos del buque atracado, estableciendo sus límites operacionales.

Para la verificación y diseño del ancho de vías de navegación, accesos a puertos y áreas de maniobrabilidad normalmente se usan los simuladores de navegación en tiempo acelerado y en tiempo real.

La simulación en tiempo acelerado se utiliza:

- Para determinar aproximadamente el ancho requerido de los canales y la dársena.
- Para desarrollar una estrategia para entrar y salir del puerto.
- Para generar los criterios de entrada para la simulación de tiempo real.

La simulación en tiempo real se utiliza:

- Para optimizar el layout del puerto.
- Para desarrollar el sistema de admisión.
- Para capacitar a las autoridades portuarias, los prácticos y los capitanes de remolcadores.

La simulación de navegación en tiempo real es deseable que sea realizada en instalaciones que cuenten con equipos que efectúen la simulación del buque y de los remolcadores conjuntamente en tiempo real.

La OMI ha establecido algunas consideraciones que deben cumplir los simuladores que sean usados para la comprobación de competencias de la gente de mar.

DIRECTEMAR ha recogido la resolución OMI sobre simuladores y ha emitido una resolución para certificar los simuladores que se usen para tales fines.

Las consideraciones que deben tener los simuladores establecidas en la regla I/12 y la sección A-I/12 del Convenio Internacional sobre Normas de Formación, Titulación y Guardia para la Gente de Mar (STCW-78/95) son:

- a) Que sirvan para cumplir los objetivos de evaluación que se hayan especificado.
- b) Que puedan simular la capacidad operacional del equipo del buque, con un grado de realismo que esté en consonancia con los objetivos de la evaluación, e incluya los medios, las limitaciones y los posibles errores del referido equipo.
- c) Que funcionen con el suficiente realismo para que el alumno pueda demostrar una competencia, acorde con los objetivos de la evaluación.
- d) Que hagan las veces de interfaz, de manera que el alumno pueda interactuar con el equipo y el entorno simulado.
- e) Que permitan crear un entorno operacional controlado en el que se puedan reproducir distintas condiciones, entre las que cabe incluir emergencias y situaciones peligrosas o inusuales con respecto a los objetivos de la evaluación.
- f) Que permitan que el evaluador controle, supervise y registre los ejercicios para evaluar eficazmente el rendimiento de los postulantes a título o habilitación para ejercer mando o jefatura de máquinas.

Además de las consideraciones antes mencionadas, los simuladores a ser usados para el diseño de instalaciones portuarias deberán cumplir con lo siguiente:

- Los coeficientes hidrodinámicos del buque de diseño, deberán corresponder al tipo y dimensiones del buque considerado.
- Los coeficientes hidrodinámicos del o los remolcadores a utilizar deberán corresponder al tipo y potencia requeridos.

Para la determinación del tiempo de utilización a través de la comprobación de los movimientos del buque atracado y establecer los límites operacionales se usan modelos matemáticos tales como: TERMSIM, Moses entre otros.

Los modelos matemáticos deben contemplar el uso adecuado de los coeficientes hidrodinámicos de los buques de diseño.



## 2 ANEXOS

---

Con la finalidad de complementar el capítulo “Criterios de Operación de Obras y Naves” y apoyar al lector en la realización de informes de Operación y Maniobras, se presentan 4 anexos los cuales exponen respectivamente los siguientes temas:

- Resolución DIRECTEMAR sobre estudios de maniobrabilidad.
- Formato de informe de operación.
- Diagrama de proceso de aprobación de estudios de maniobra.
- Antecedentes ambientales de zona de emplazamiento del proyecto o instalación portuaria.

## 2.1 ANEXO A: RESOLUCIÓN DIRECTEMAR SOBRE ESTUDIOS DE MANIOBRABILIDAD

DGTM. Y M.M. ORDINARIO N° 12.600/ 565 VRS.

GENERAL DEL TERRITORIO MARÍTIMO Y DE

MARINA MERCANTE, ORDINARIO N° A- 31/002

VALPARAÍSO, 02 OCT 2012

**VISTO:** lo dispuesto en el D.F.L. N° 292, de 1953, que aprueba la ley Orgánica de la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante; la Resolución C.J.A. ORD. N°6.491/3 Vrs., del 25 de noviembre del 2002, que aprueba el Reglamento Orgánico Interno de funcionamiento de la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante; las facultades que me confiere el D.L. N° 2.222 de 1978, Ley de Navegación; el D.S. (M) N° 2 del 2005, Reglamento sobre Concesiones Marítimas; el D.S. (M) N° 1.340 bis de 1941, Reglamento General de Orden, Seguridad y Disciplina en las Naves y Litoral de la República y el D.S. (M) N° 427, del 25 de junio de 1979, Reglamento de Tarifas y Derechos de la D.G.T.M y M.M.,

RESUELVO:

**APRUEBESE** la siguiente circular, que establece el procedimiento y los requisitos para la elaboración y tramitación de Estudios de Maniobrabilidad para instalaciones portuarias.

### **CIRCULAR D.G.T.M. Y M.M. ORDINARIO N° A – 31/002**

OBJ.: Establece procedimiento y exigencias técnicas para la elaboración y tramitación de Estudios de Maniobrabilidad para instalaciones portuarias.

#### **I. Informaciones**

- A. El artículo 91 del D.L. N° 2.222 de 1978, Ley de Navegación, establece que la Autoridad Marítima será la autoridad superior en las faenas que se realicen en los puertos marítimos, fluviales y lacustres y precisa que en materias de seguridad, le corresponderá exclusivamente determinar las medidas que convenga adoptar.

- B. La forma de garantizar la seguridad de las maniobras de las naves en los puertos y terminales marítimos es mediante la presentación de un documento técnico, denominado Estudio de Maniobrabilidad.
- C. El Estudio de Maniobrabilidad constituye un requisito imprescindible para que las Capitanías de Puerto autoricen la operación de una instalación portuaria, para lo cual, previamente debe haber sido aprobado por la Dirección de intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático, en adelante Dirección Técnica.
- D. Los Estudios de Maniobrabilidad deben ser elaborados conforme a la estructura de contenidos mínimos que dispone la presente Circular Marítima.

## II. Definiciones

Para los efectos de la presente Circular, se entenderá por:

### A. ESTUDIO DE MANIOBRABILIDAD:

Documento técnico que contiene la definición y descripción de las maniobras que debe efectuar una nave de características específicas para ingresar, permanecer y salir desde una instalación portuaria, así como la determinación de los elementos de apoyo requeridos para ello, considerando las condiciones meteorológicas, oceanográficas y características del fondo marino del lugar de emplazamiento de la instalación, y todos aquellos factores que la pueden afectar.

### B. INFORME DE OPERACIÓN:

Documentación que define las condiciones de operación y medidas de seguridad para la operación de naves menores, elaborado en base a la experiencia local para ser considerado en la Resolución de Habilitación del Capitán de Puerto.

### C. INSTALACIÓN PORTUARIA:

Expresión genérica para referirse a sitios, frentes de atraque, muelles, molos, malecones, terminales marítimos, rampas u otras obras de envergadura similar que permitan el atraque de naves.

### D. NAVE TIPO:

Embarcación que por sus características y dimensiones principales, es utilizada como referente para la elaboración de un Estudio de Maniobrabilidad.

---

#### E. APROBACIÓN SHOA

Resolución emitida por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, que otorga validez técnica a los estudios de viento, oceanográficos y batimétricos empleados para la elaboración de Estudios de Maniobrabilidad.

#### F. COMITÉ ASESOR LOCAL DE PUERTOS:

Comité presidido por el Capitán de Puerto e integrado por los Prácticos Oficiales de la jurisdicción y los profesionales invitados o convocados para estos efectos por el Capitán de Puerto.

Sesionará cuando sea requerido por el Capitán de Puerto para efectuar la revisión preliminar de Estudios de Maniobrabilidad, analizar las maniobras de prueba y emitir los correspondientes Informes técnicos, así como también para prestar asesoría en aspectos específicos relacionados con la maniobrabilidad de las naves en las instalaciones portuarias.

#### G. CONDICIÓN DE OPERACIÓN LÍMITE:

Parámetros máximos de viento, corriente y altura de ola, que permiten la ejecución de cualquier tipo de maniobra en una instalación portuaria en la forma y con los apoyos definidos en el Estudio de Maniobrabilidad.

#### H. PERÍODO DE PRUEBA DE UNA INSTALACIÓN PORTUARIA:

Período en el cual se realizan maniobras de prueba en una instalación portuaria, en la cantidad y forma dispuesta por la Dirección Técnica, objeto comprobar si lo definido en el Estudio de Maniobrabilidad requiere de ajustes o modificaciones en base a la experiencia práctica.

Durante dicho período, las maniobras deben estar amparadas por una Resolución de Habilitación Provisoria del Capitán de Puerto correspondiente.

#### I. RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN PROVISORIA:

Documento oficial, emitido por la Dirección Técnica, mediante el cual se determina que el Estudio de Maniobrabilidad se encuentra sin observaciones y autoriza el inicio del período de prueba de la instalación portuaria.

#### J. RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEFINITIVA:

Documento oficial, emitido por la Dirección Técnica, mediante el cual se certifica que el Estudio de Maniobrabilidad se encuentra sin observaciones luego de efectuado el período de prueba.

#### K. EMPRESA RESPONSABLE:

Es la empresa que posee los derechos de uso sobre las instalaciones portuarias o que se encuentra facultada para presentar Estudios de Maniobrabilidad en la forma descrita en la letra C del Título V.

### III. Ámbito de Aplicación

- A. Corresponderá la presentación de un Estudio de Maniobrabilidad a las instalaciones portuarias en las que se efectúan maniobras con naves mayores. Para instalaciones portuarias destinadas exclusivamente a la atención de naves menores, bastará la presentación de un Informe de Operación.
- B. Para el caso específico de rampas y demás obras de apoyo social a la conectividad marítima regional, en las que se considere la operación de naves mayores, se podrá aceptar la presentación de un Informe de Operación, previa solicitud a la Dirección Técnica, la cual deberá ser formulada por escrito por la empresa responsable.

La Dirección Técnica analizará la solicitud, considerando para ello aspectos tales como las condiciones físicas y operacionales de la zona de emplazamiento de la obra, las características de la nave tipo, el nivel de complejidad de la maniobra, entre otros, tras lo cual podrá acoger o denegar la solicitud.

Al final de este capítulo se adjunta formato de Informe de Operación, el cual señala los aspectos que se deben considerar en el mismo.

- C. Considerando que el propósito de los Informes de Operación es servir de fundamento técnico para la elaboración de las Resoluciones de Habilitación de las instalaciones portuarias, éstos no se encuentran sujetos a cobros y no ameritan aprobación.
- D. Los Estudios de Maniobrabilidad deberán ser presentados por las empresas responsables, y su elaboración deberá ceñirse a la estructura metodológica que entrega la presente Circular.
- E. Corresponderá la presentación de Estudios de Maniobrabilidad en las siguientes circunstancias:
  - 1) Cuando se requiera la habilitación operativa de instalaciones portuarias nuevas.

- 2) Ante la modificación física de las instalaciones portuarias habilitadas.
  - 3) Cuando se solicite aumentar el porte de la nave máxima autorizada para operar en una instalación portuaria, en más de un 2 % de su eslora.
  - 4) Cuando se solicite variar las condiciones operacionales en la instalación portuaria.
  - 5) Cuando se detecten interferencias operativas entre las maniobras de una nave y las áreas de maniobra de otras instalaciones portuarias.
  - 6) Cuando ocurran accidentes que afecten a naves y/o instalaciones portuarias y se establezca, previa Investigación Sumaria Administrativa Marítima, que la causa basal radica en aspectos derivados de maniobras.
- F. Todo Estudio de Maniobrabilidad que considere el aumento de la nave máxima autorizada a operar en una instalación portuaria, debe estar acompañado de la correspondiente certificación del organismo competente (Dirección de Obras Portuarias), que garantice que dicha instalación se encuentra dimensionada para resistir la energía de atraque y sollicitaciones de naves de esas características.

Asimismo, todo elemento fijo o móvil que se incorpore como frente de atraque o como parte de éste, ya sea en forma permanente o eventual y que incida en la maniobra deberá contar con dicha certificación.

#### **IV. Instrucciones Relativas al Trámite del Informe de Operación**

- A. Para el caso de instalaciones portuarias de apoyo social a la conectividad que consideren la operación de naves mayores, de requerirlo, la empresa responsable podrá solicitar por escrito a la Dirección Técnica, autorización para presentar un informe de operación en el lugar de un estudio de maniobrabilidad.
  - B. Dicha solicitud deberá contener los datos de contacto de la empresa responsable, características de la nave, tipo de operación que efectuará y, de haberlos, antecedentes relativos a las condiciones oceanográficas y batimétricas del área.
  - C. La Dirección Técnica dispondrá de un plazo de 10 días hábiles, a contar de la fecha de recepción de la solicitud, para la remisión de respuestas a la empresa responsable, que podrá ser la autorización para la presentación de un informe de operación, la solicitud de antecedentes complementarios o el requerimiento de un estudio de maniobrabilidad en los términos dispuestos en la presente circular.
  - D. Para instalaciones portuarias que consideren la operación de naves menores, sólo se debe presentar un Informe de Operación, no requiriéndose autorizaciones previas.
-

- E. El Informe de operación, será presentado por la empresa responsable en la Capitanía de Puerto correspondiente a la jurisdicción de emplazamiento de la instalación portuaria, y para el caso de aquellas que consideran la operación de naves mayores, se deberá adjuntar además, la correspondiente autorización de la Dirección Técnica y demás antecedentes requeridos por ésta, conforme a lo señalado en la letra B, Título III, de la presente Circular Marítima.
- F. El capitán de puerto elevará la incorporación de los antecedentes que éste proporciona en la Resolución de habilitación correspondiente.

## V. Instrucciones Relativas al Trámite del Estudio

Los involucrados en el proceso de revisión y aprobación de Estudios de Maniobrabilidad son la Dirección Técnica, Gobernaciones Marítimas y Capitanías de Puertos.

El proceso general de revisión y aprobación de Estudios de Maniobrabilidad que se grafica al final de este Capítulo, cuanta con las siguientes etapas:

### A. Revisión por parte de la Autoridad Marítima Local

- 1) Los estudios de maniobrabilidad, así como las correcciones o modificaciones a los mismos, serán ingresados a trámite por la empresa responsable, en dos ejemplares, en la Capitanía de Puerto correspondiente a la jurisdicción de emplazamiento del proyecto o instalación portuaria, cancelando la tarifa correspondiente a la revisión y aprobación de estudios técnicos de puertos, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Tarifa y Derechos de la Dirección General.
- 2) Una vez recibido el estudio el Capitán de Puerto verificará que éste haya sido elaborado conforme a las instrucciones de la presente Circular.
- 3) El no cumplimiento de lo anterior podrá ser causal de devolución del estudio a la empresa responsable por parte de la Autoridad Marítima Local, situación que será notificada por escrito.
- 4) Inicialmente el estudio será sometido a una revisión preliminar por parte del Comité Asesor Local de Puertos.
- 5) El Capitán de Puerto devolverá el estudio a la empresa responsable cuando evidencie observaciones relevantes que impidan efectuar o concluir la revisión preliminar, indicando por escrito las causales de devolución.

En caso contrario, cumplida la revisión a nivel local, el estudio se elevará a la Dirección Técnica para la revisión final.

- 6) El plazo para la revisión de estudios por parte de la Autoridad Marítima Local y su tramitación a la Dirección Técnica, será de 20 días hábiles a partir de la fecha de recepción y de 30 días hábiles en el caso de las Capitanías de Puerto que no cuenten con dotación de Prácticos.

B. Revisión por parte de la Dirección Técnica:

- 1) El plazo para la revisión de estudios y antecedentes por parte de la Dirección Técnica, será de 80 días hábiles a partir de la fecha de recepción en dicha Dirección.
- 2) Concluido el proceso de revisión y en el caso de existir observaciones que deban ser corregidas por la empresa responsable, la Dirección Técnica notificará por escrito a esta última, con copia informativa al Gobernador Marítimo y Capitán de Puerto correspondiente.
- 3) En la mencionada notificación se informará a la empresa el lugar de presentación de las correcciones que podrá ser la Capitanía de Puerto o la Dirección Técnica según sea la naturaleza de las observaciones.
- 4) Junto con lo anterior, se indicará si las correcciones deben ser presentadas a través de una nueva versión, o bien, remitiendo las hojas que sufrieron modificaciones. En este último caso, las hojas de remplazo deberá incluir el número de la corrección, mes y año en el pie de página, extremo inferior derecho.

C. Aprobación Provisoria – período de ejecución de maniobras de prueba:

- 1) En caso de que el estudio no presente observaciones, será aprobado por la Dirección Técnica en carácter provisorio, emitiéndose la correspondiente Resolución de Aprobación Provisoria.
- 2) Dicha Resolución de Aprobación Provisoria será puesta en conocimiento de la empresa responsable, Gobernador Marítimo y Capitán de Puerto, exigiéndose además la ejecución de maniobras de prueba, objeto verificar la factibilidad operativa de las mismas.
- 3) La cantidad mínima de maniobras de prueba exigidas corresponderá a 4 recaladas para el caso de instalaciones portuarias nuevas, y 2 para las instalaciones portuarias habilitadas.



- 4) En caso de instalaciones autorizadas para efectuar maniobras nocturnas, a lo menos una de las maniobras de prueba deberá ser en tales condiciones.
- 5) Las maniobras consideradas válidas para efecto de prueba serán las ejecutadas por naves de igual eslora que la nave tipo del Estudio de Maniobrabilidad, con una tolerancia no mayor al 5% para esloras iguales o superiores a 250 metros y de un 10% para esloras inferiores a 250 metros.
- 6) Si durante el período de prueba la Autoridad Marítima Local detecta observaciones que afectan la seguridad de las maniobras, procederá de inmediato a suspenderlas hasta que éstas sean subsanadas, lo que será notificado por escrito a la empresa responsable, detallando los fundamentos de la suspensión.

Una vez resueltas las observaciones, la Autoridad Marítima Local autorizará el reinicio del período de prueba, debiendo efectuarse la totalidad de maniobras dispuestas en la Resolución de Aprobación Provisoria.

- 7) Una vez concluidas las maniobras de prueba, la Capitanía de Puerto elevará a la Dirección Técnica un informe con la opinión local, conteniendo observaciones y sugerencias, si fuera el caso, o manifestando su conformidad.
- 8) Analizado el informe con la opinión local, la Dirección Técnica notificará a la empresa responsable aquellos aspectos que deben ser resueltos o corregidos previo a la aprobación definitiva del estudio, informando de ello al Gobernador Marítimo y Capitán de Puerto.

#### D. Aprobación Definitiva:

- 1) Una vez concluidas las maniobras de prueba y corregidas la totalidad de las observaciones que pudieran haber surgido durante la ejecución de éstas, la Dirección Técnica Procederá a emitir la Resolución de Aprobación, en carácter definitivo, la que será puesta en conocimiento de la empresa responsable, Gobernador Marítimo y Capitán de Puerto.

## VI. Consideraciones Generales del Trámite de Estudios de Maniobrabilidad

- A. Desde el momento de ingreso de un Estudio de Maniobrabilidad a trámite, toda comunicación requerida por la Autoridad Marítima Local o Dirección Técnica, será formulada por escrito y exclusivamente a la empresa responsable.

- B. Asimismo, cualquier requerimiento hacia la Autoridad Marítima Local o Dirección Técnica, deberá ser formulado por escrito y exclusivamente por la empresa responsable.
- C. La empresa responsable podrá nominar un representante para efectos de tramitación de un estudio, para lo cual deberá adjuntar un poder simple como constancia. En estas circunstancias, las notificaciones por parte de la Autoridad Marítima Local y Dirección Técnica, serán dirigidas tanto a la empresa responsable como a su representante.
- D. Tras la entrega de observaciones a la empresa responsable, ya sea por parte de la Autoridad Marítima Local o de la Dirección Técnica, dicha empresa contará con un plazo de 6 meses para reingresar el estudio corregido a trámite. De exceder tal plazo, éste será tramitado como proyecto nuevo a través de la Capitanía de Puerto, perdiendo cualquier orden de precedencia que pudiese tener frente al resto de Estudio de Maniobrabilidad que se encuentre en proceso de revisión.
- E. La entrega de Estudios de Maniobrabilidad y antecedentes del trámite a terceros debe ser autorizada por la empresa responsable, mediante documento dirigido al Director de Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático.
- F. La empresa responsable deberá garantizar en todo momento, que las exigencias operacionales contenidas en el Estudio de Maniobrabilidad y demás disposiciones relativas a los elementos de apoyo a la manobra, se cumplan.
- G. En aquellos casos en que el Estudio de Maniobrabilidad presentado para regularizar las maniobras de una instalación habilitada, determina la necesidad de aumentar los apoyos y/o modificar los límites o condiciones operacionales, el Capitán de Puerto dará al propietario un plazo para ajustarse a los nuevos requerimientos, el cual será definido en función de la magnitud de las modificaciones o ajustes requeridos.

## **VII. Consideraciones Generales para la Elaboración de Estudios de Maniobrabilidad**

- A. Los antecedentes expuestos en el estudio deben limitarse en contenido y forma a lo indicado en la presente Circular. Todo antecedente adicional debe incluirse en anexos.
- B. Se aceptará el empleo de información contenida en publicaciones técnicas u otros estudios validados por el organismo técnico competente, siempre que se cite la fuente y se acompañe un anexo una copia del documento íntegro o extracto de la sección pertinente.

- C. Las fórmulas empleadas deben escribirse íntegramente y luego sustituir en ellas los parámetros y valores correspondientes, debiendo presentarse la totalidad de resultados parciales y finales.
- D. Para los casos en que los cálculos se efectúen utilizando software especializados o simuladores numéricos, junto con los resultados, se deberán detallar la totalidad de los parámetros de entrada empleados e incluir una conclusión en base a la interpretación de los mismos.
- E. Cuando se solicite modificar o complementar un estudio aprobado, bastará con la presentación de un adendum, que contenga exclusivamente aquellos aspectos que tengan directa relación con la modificación requerida, en caso de emplear antecedentes, datos o resultados del estudio original, sólo se requiere consignarlo en las referencias.
- F. Se acepta el uso de simuladores de prueba para la definición de maniobras, determinación de límites operacionales y requerimientos a apoyos, siempre y cuando éstos hayan sido previamente evaluados por la Dirección Técnica y la simulación se efectúe en presencia de un asesor de la misma y de prácticos de puerto, y en caso que corresponda, de patrones de remolcadores de la jurisdicción. No entran dentro de esta categoría los simuladores numéricos.
- G. Para efectos de identificación, todo Estudio de Maniobrabilidad deberá contemplar la siguiente información:
- 1) Carátula:
    - a) Nombre del proyecto o instalación portuaria
    - b) Identificación de la versión o revisión.
    - c) Fecha de la versión o revisión.
    - d) Identificación de la empresa propietaria del proyecto (empresa responsable).
  - 2) Primera Hoja:
    - a) Identificación de la empresa responsable:
      - Nombre empresa.
      - Nombre y cargo del representante.
      - Dirección

- Teléfono.
- Correo electrónico de contrato.
- b) Identificación de la empresa consultora:
  - Nombre empresa.
  - Nombre representante.
  - Dirección.
  - Teléfono.
  - Correo electrónico de contacto.
  - Nombre asesor marítimo de empresa consultora.
  - Correo electrónico del asesor marítimo de empresa consultor.

H. Complementariamente, todo estudio debe estar acompañado de un archivo digital que incluya tanto informes como planos, cuya carátula deberá contener los mismos antecedentes de la carátula del documento físico.

## **VIII. Estructura de los Estudios de Maniobrabilidad**

A. Todo Estudio Técnico deberá ajustarse a la siguiente estructura:

Índice

Capítulo 1: Antecedentes del proyecto y de la nave de diseño.

Capítulo 2: Descripción de condiciones física del área.

Capítulo 3: Definición de la condición límite para la ejecución de Maniobras.

Capítulo 4: Determinación de los requerimientos de remolcadores.

Capítulo 5: Descripción de la maniobra.

Capítulo 6: Elementos de amarre.

Capítulo 7: Resumen.

Capítulo 8: Recomendaciones.

Capítulo 9: Anexos.

1) Capítulo 1: Antecedentes del proyecto y de la nave de diseño.

a) Del proyecto:

- Objetivo del proyecto: Debe indicar brevemente el propósito de la presentación del Estudio de Maniobrabilidad, en la forma de un resumen ejecutivo.
- Ubicación geográfica: debe indicar el sector de emplazamiento del proyecto o instalación portuaria.
- Plano general de ubicación del proyecto
- Características generales del proyecto:
  - Descripción general de las instalaciones que contempla el proyecto.
  - Descripción general de las operaciones: Faenas de cargas y/o descarga, tipo de carga a movilizar, régimen de uso (diurno, nocturno) y rendimientos de transferencia.
  - Identificar otras instalaciones portuarias en el sector.

a) De la nave tipo:

Se deberá presentar, como mínimo, la siguiente información para la o las naves tipo consideradas en el estudio:

- Tipo de nave (Según tipo de carga que transporta).
- Nombre (para el caso de naves conocidas).

- Número IMO (cuando corresponda).
- Manga
- Puntal
- Eslora total
- Eslora entre perpendiculares.
- Deadweight Tonnage (DWT).
- Desplazamiento con calado operacional.
- Calado en lastre.
- Calado máximo.
- Calado operacional.
- Potencia de máquinas en HP (para el caso de barcazas y transbordadores).
- Superficie del caserío.

Para los casos en que no se cuente con una nave tipo conocida, la información requerida podrá extraerse de publicaciones o recomendaciones técnicas, debiendo consignarse la fuente o adjuntarla en Anexo.

## 2) Capítulo 2: Descripción de las condiciones físicas del área.

La información requerida en el presente Capítulo corresponde a un extracto de antecedentes relevantes de vientos, mareas, corrientes, oleajes, batimetrías y detalles del fondo de mar del área, extraídos de los correspondientes estudios aprobados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), los cuales además deben incorporarse como anexo al Estudio de Maniobra, en la forma descrita en el Anexo “C” adjunto más abajo, debiendo éste contar con el timbre de aprobación del mencionado Servicio.

### a) Vientos:

- Precisar lugar en el que se efectuaron las mediciones de viento.

- Precisar lugar al cual corresponde los resultados del estudio de vientos.
- Breve descripción del régimen de vientos del lugar de emplazamiento de la instalación portuaria, complementada con la siguiente tabla de frecuencia de vientos (%), magnitudes máximas y promedios para un mínimo de 8 direcciones.

MAGNITUD (m/s)	FRECUENCIA (%) DE INCIDENCIA DE VIENTOS								TOTAL (%)
	DIRECCIONES								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Total									
Máximo									
Promedio									

b) Corrientes:

- Precisar lugar en el que se efectuaron las mediciones de corriente.
- Precisar lugar al cual corresponde los resultados del estudio de corrientes.
- Breve descripción del régimen de corrientes del lugar de emplazamiento de la instalación portuaria, complementada con la siguiente tabla de direcciones y velocidades máximas de las corrientes presentes, con indicación de las profundidades a las cuales se presentan, debiendo considerarse la profundidad a la mitad del calado operacional.

PROFUNDIDAD (m)	DIRECCIÓN	VELOCIDAD (m/s)

(Máximo una carilla para esta sección)

c) Olas:

- Precisar lugar en el que se efectuaron las mediciones de oleaje.
- Precisar lugar al cual corresponden los resultados del estudio de olas.
- Breve descripción del régimen de olas del lugar de emplazamiento de la instalación portuaria, indicando altura significativa, longitud, período y direcciones predominantes de las olas incidentes.

- Altura máxima y dirección de la ola asociada a la ocurrencia de eventos extremos.

(Máximo una carilla para esta sección).

d) Mareas:

Breve descripción del régimen de mareas del lugar de emplazamiento de la instalación portuaria, indicando alturas máximas y mínimas en sicigias.

(Máximo una carilla para esta sección).

e) Batimetría

Plano batimétrico aprobado por el SHOA.

f) Fondo marino:

Caracterización del fondo marino, describiendo las capas, espesor y composición de éstas (fango, arena, arcilla, conchuela, piedras, etc.), hasta una profundidad de 2,5 metros, como mínimo, salvo en aquellos casos en que las características del subsuelo marino lo impidan.

Dicha caracterización se deberá efectuar en las zonas de fondeo de anclas, patas de boyas o cualquier elemento cuya función sea hacer firme la nave o los elementos de amarre al fondo marino.

Para los casos en que la maniobra no incluya el fondeo de anclas y las instalaciones no consideren el empleo de boyas, rejeras o cualquier elemento que deba ser anclado al fondo marino, se requerirá sólo una caracterización superficial del fondo marino.

Lo anterior se deberá acompañar con la gráfica de las estaciones de muestreo, indicando coordenadas geográficas y UTM.

(Máximo una carilla para esta sección).



### 3) Capítulo 3: Definición de la condición límite para la ejecución de maniobras.

Definición de las condiciones de operación en el instalación portuaria, las que serán empleadas tanto como límites para la ejecución de maniobras como para la determinación del requerimiento de remolcadores.

Los antecedentes se expondrán de la siguiente forma:

NAVE TIPO:			
Maniobra	Viento		Altura de la ola del lugar (m)
	Dirección	Velocidad (m/s)	
Atraque			
Desatraque			
Corrida			

En aquellos casos en los cuales, por alguna eventualidad se sobrepase la condición límite definida y calculada en el estudio, el Capitán de Puerto, con la asesoría del Práctico local, definirá las medidas operacionales a adoptar para la ejecución de las maniobras de desatraque – desamarre en condiciones de seguridad, no obstante, el Estudio de Maniobrabilidad podrá incluir recomendaciones en este aspecto, objeto sean consideradas por la Autoridad Marítima Local en dichas circunstancias.

### 4) Capítulo 4: Determinación de los requerimientos de remolcadores

a) Como norma general, la determinación de la potencia total requerida por los remolcadores, en toneladas de fuerza de tracción (Bollard pull), se podrá efectuar emplazando las metodologías descritas en las siguientes recomendaciones internacionales, conforme a los requisitos de aplicación de cada una:

- Recomendaciones para Obras Marítimas ROM, de Puertos del Estado de España.
- Recomendaciones de la Oil Companies International Marine Forum, OCIMF.
- Recomendaciones British Ship Research Association.
- Tug Use in Port, Capitan Henk Hensen.

- Simuladores de prueba reconocidos por la Dirección Técnica. Los simuladores numéricos se consideran un apoyo importante, pero sólo en carácter referencial.

Se podrán emplear recomendaciones técnicas diferentes siempre y cuando se adjunten íntegramente al Estudio de Maniobrabilidad, objeto resolver si son aceptadas y aplicables.

b) Consideraciones específicas para el cálculo de requerimientos de remolcadores:

- Se deberá desarrollar para las diferentes naves tipo y maniobras en condición de máxima carga (atraque/amarre – desatraque/desamarre), considerando los parámetros de vientos y oleaje de la condición de operación límite y la corriente máxima del área.
- Sin perjuicio de lo descrito en las recomendaciones internacionales para el cálculo de los requerimientos de remolcadores, se deberá aplicar un factor de seguridad mínimo de 1,25 sobre la fuerza total combinada de viento, corriente y olas.
- Al margen de lo anterior, el resultado obtenido deberá ser ponderado por la pérdida de efectividad de los remolcadores producto de la altura de olas, según sea el tipo de remolcador y modalidad de empleo, como asimismo, por la reserva de potencia para imprimir a la nave velocidad transnacional o para detenerla en la fase final del atraque.
- Se deberán considerar individualmente aquellos casos en que las naves se encuentren equipadas con hélices laterales, donde parte de la tracción generada por éstas podría ser deducida del requerimiento de bollard pull calculado, siempre y cuando éste se encuentre operativo y disponible para la maniobra en un 100%, certificado bajo firma del Capitán en el “Pilot Card”.
- El número de remolcadores requeridos para la ejecución de una maniobra, no sólo se determinará en función de lo señalado en los puntos precedentes, ya que también deben considerarse las características de la nave, áreas de maniobra disponibles, complejidad de la maniobra y otros factores de riesgos identificados en el propio estudio.
- Como norma general, para toda nave de eslora igual o superior a 160 metros, independiente del bollard pull determinado, se debe considerar el empleo de,

al menos dos remolcadores. En naves de esloras inferiores, éstos podrán disminuir siempre que el Estudio de Maniobrabilidad incorpore la debida fundamentación.

Se exceptúa de lo anterior, a aquellas naves que cuenten con elementos auxiliares para maniobra (combinación de hélices transversales, dos ejes, timones Schilling o Becker, entre otros), para las cuales el número de apoyos se podrá determinar considerando dichos elementos, situación que debe ser justificada técnicamente en el Estudio de Maniobrabilidad.

c) Lo anterior deberá exponerse de la siguiente manera:

NAVE TIPO EN CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA		
Maniobra	Ton. Bollard Pull Total	Nº Remolcadores
Atraque		
Desatraque		

## 5) Capítulo 5: Descripción de la maniobra

a) Descripción de las maniobras de la o las naves consideradas en el estudio:

Las descripciones deben contener el detalle suficiente para constituirse en la maniobra estándar para cada caso, por lo que deben incorporar la experiencia de los prácticos locales.

Los antecedentes que deben ser considerados en el Capítulo corresponden a los siguientes:

- Descripción detallada de la aproximación al área de atraque/amarre y la señalización marítima empleada.
- Sin perjuicio de los antecedentes incorporados en el estudio de maniobrabilidad, los estudios de señalización marítima deben ser aprobados por la Dirección de Seguridad y Operaciones Marítimas.
- Descripción de la manobra de fondeo y número de paños, cuando corresponda.

- Descripción de la maniobra de atraque / amarre, incluyendo la secuencia, cantidad de espías y número de paños en la posición final de la nave, cuando corresponda.
  - Descripción del uso de los remolcadores, con indicación de posiciones durante el desarrollo de la maniobra (carnereo), tipo de remolcador; definiendo la modalidad de empleo para la caso de los remolcadores Azimuth Stern Drive ASD.
  - Descripción de la maniobra de desatraque / desamarre, incluyendo la secuencia en que se deben largar las espías.
  - Los planos de maniobrabilidad deben graficarse sobre una copia del plano batimétrico aprobado por el SHOA, reflejar exactamente la maniobra previamente descrita y contener la siguiente información:
    - Evoluciones durante la maniobra y posición final de la nave en el atraque / amarre.
    - Evoluciones durante la maniobra de desatraque / desamarre.
    - En los casos en que se contemplen manobras de corrida de nave, éstas deben dibujarse en las posiciones extremas de carga, considerando la ubicación de las defensas y los correspondientes diagramas de amarre.
    - Junto con graficar la instalación portuaria, deben considerar todos los elementos de fondeo, amarre y señalización, además de contener un recuadro con indicación de las coordenadas de estos elementos u otros puntos de interés.
    - Instalaciones portuarias colindantes.
- b) Determinación del resguardo bajo la quilla y calado operacional:
- Para la determinación del resguardo bajo la quilla, se utilizarán los criterios establecidos en las recomendaciones internacionales, conforme a los requisitos de aplicación de cada una.
  - En caso de emplear software que determinan los movimientos de la nave en sentido vertical, igualmente se debe explicitar el resguardo neto bajo la quilla

considerando, que en ningún caso podrá ser inferior a los mínimos recomendados.

- Sin perjuicio de lo anterior, dichos software sólo serán considerados si fueron ejecutados con valores obtenidos de estudios oceanográficos específicos para el lugar del emplazamiento y utilizando la ficha hidrodinámica de la nave o cascos modelos sometidos al clima de las olas del lugar.
- Para la determinación del calado operacional, se utilizará el resguardo bajo la quilla determinado precedentemente y la sonda mínima existente en el área de maniobra.
- Si la instalación portuaria considera más de un sitio de atraque, la determinación del calado operacional deberá efectuarse para cada sitio en forma separada.

#### 6) Capítulo 6: Elementos de amarre y defensas.

Deberá considerar los siguientes antecedentes:

- Descripción y características de los elementos empleados en el diagrama de amarre, considerando la disponibilidad de winches y guías, de acuerdo al Plan de Arreglo General de la nave tipo.
- Para el caso de las boyas, se deberá presentar un plano a escala con la ubicación y especificaciones de cada uno de sus componentes.
- Descripción del tipo de defensas, características y capacidades, adjuntando la aprobación del organismo competente.
- En un anexo se deberá adjuntar el desarrollo del cálculo de la resistencia a la tracción de bitas, bitones, boyas y rejeras, aprobado por el organismo competente (Dirección de Obras Portuarias).

Sin perjuicio de lo anterior, para efectos de maniobrabilidad, en el caso de que la infraestructura portuaria considere la operación de naves post-panamax, la determinación de las solicitudes a los puntos de amarre se deberá desarrollar con métodos de simulación dinámica, debiendo adjuntar los reportes de los resultados más demandantes con la correspondiente interpretación y conclusión.

## 7) Capítulo 8: Recomendaciones

Señalar toda recomendación derivada del desarrollo del estudio relacionada con aspectos de maniobrabilidad, medios de apoyos a las maniobras, señalización marítima, instalación de instrumental, elementos de amarre o u otras que la empresa responsable estime conveniente.

## 8) Capítulo 9: Anexos

Todo antecedente que no se encuentre considerado en la estructura definida en la presente Circular y que la empresa consultora estime de interés, deberá incluirse en anexos, al igual que el detalle de los cálculos, tanto los desarrollados en forma manual como los reportes de la aplicación de software con la correspondiente interpretación de los resultados.

### B. Situaciones particulares:

#### 1) Rampas:

En los Estudios de Maniobrabilidad para barcazas y transbordadores en rampas, no se requerirá la determinación de calados operacionales, bastando con la definición del resguardo bajo la quilla.

#### 2) Diques Flotantes:

En Estudios de Maniobrabilidad para diques flotantes, se debe considerar la descripción de las maniobras de entrada y salida del dique.

En caso que se contemplen maniobras de atraque al costado del mismo, el estudio se deberá acompañar por la certificación de un organismo técnico competente que asegure que la estructura es capaz de absorber la energía de atraque a que será sometida.

Asimismo, si el diagrama de amarre de la nave que atracará al dique considera el empleo de boyas, se deberá cumplir con lo requerido en el Capítulo 6: Elementos de amarre.

#### 3) Diques Secos y Varaderos que presten servicios a naves mayores, bastará la presentación de un Informe de Operación.

**DERÓGUESE** la resolución de D.G.T.M Y M.M. Ord. N° 12.600/373 Vrs., de fecha 28 de Octubre de 2002.

**ANÓTESE** y comuníquese



ARMADA DE CHILE  
DIRECTOR  
DIRECCIÓN DE OBRAS PORTUARIAS

ENRIQUE LARRAÑAGA MARTIN  
VICEALMIRANTE  
DIRECTOR GENERAL

## 2.2 ANEXO B: FORMATO DE INFORME DE OPERACIÓN

### I. IDENTIFICACIÓN INSTALACIÓN PORTUARIA

- A. Nombre de la instalación portuaria.
- B. Propietario y administrador u operador.

### II. CARACTERÍSTICAS NAVES TIPO

- A. Nave tipo
- B. Eslora
- C. Manga
- D. Calado
- E. Arqueo Bruto
- F. Sistema de propulsión

### III. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL ÁREA

Caracterización de la zona de emplazamiento de las rampas y áreas de maniobras en términos de viento, corrientes, oleaje y mareas.

### IV. MANIOBRAS CONSIDERADAS EN LA OPERACIÓN

- A. Descripción de las instalaciones portuarias.
- B. Descripción de las operaciones: faenas de carga / descarga, régimen de uso diurno / nocturno, etc.
- C. Descripción de las maniobras: atraque, desatraque, abarloamiento, acoderamiento, amarre a boyas, etc.

### V. RESTRICCIONES PARA LA OPERACIÓN

Condiciones límites de viento oleaje, mareas, visibilidad, etc.

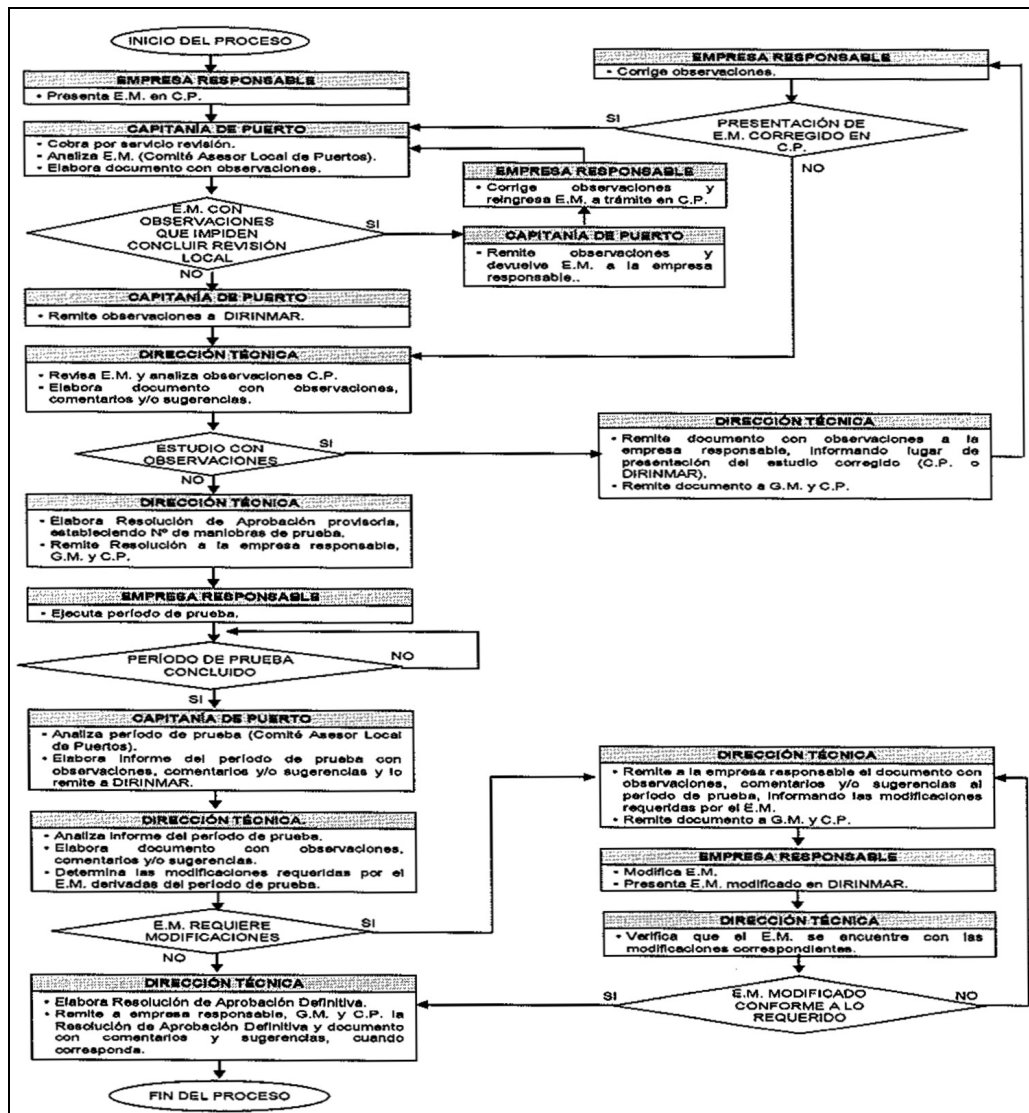
### VI. OTROS TEMAS DE INTERÉS

Cualquier otro antecedente que el interesado considere de interés.



## 2.3 ANEXO C: DIAGRAMA DE PROCESO DE APROBACIÓN DE ESTUDIOS DE MANIOBRA

Figura 2.3-1: Diagrama proceso de aprobación de estudios de maniobrabilidad



Fuente: Base de datos ARA Worley Parsons

## 2.4 ANEXO D: ANTECEDENTES AMBIENTALES DE ZONA DE EMPLAZAMIENTO DEL PROYECTO O INSTALACIÓN PORTUARIA

### 2.4.1 ANTECEDENTES AMBIENTALES DE ZONA DE EMPLAZAMIENTO DEL PROYECTO O INSTALACIÓN PORTUARIA

Los antecedentes del presente Anexo deben ser extraídos de los correspondientes estudios aprobados por el SHOA y deben contar con el timbre de aprobación de dicho Servicio.

#### I. VIENTOS

- A. Precisar lugar en el que se efectuaron las mediciones del viento.
- B. Precisar lugar al cual corresponden los resultados del estudio de vientos.
- C. Breve descripción del régimen de vientos del lugar de emplazamiento de la instalación portuaria, complementada con la siguiente tabla de frecuencia de vientos (%), magnitudes máximas y promedios para un mínimo de 8 direcciones.

MAGNITUD (m/s)	FRECUENCIA (%) DE INCIDENCIA DE VIENTOS								TOTAL (%)
	DIRECCIONES								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Total									
Máximo									
Promedio									

(Máximo una carilla para esta sección)

#### II. CORRIENTES

- A. Precisar lugar en el que se efectuaron las mediciones de corriente.
- B. Precisar lugar al cual corresponde los resultados del estudio de corrientes.
- C. Breve descripción del régimen de corrientes del lugar de emplazamiento de la instalación portuaria, complementada con la siguiente tabla de direcciones y

velocidades máximas de las corrientes presentes, con indicación de las profundidades a las cuales se presentan, debiendo considerarse la profundidad a la mitad del calado operacional.

PROFUNDIDAD DEL AGUA (m)	DIRECCIÓN	VELOCIDAD (m/s)

(Máximo una carilla para esta sección)

### III. OLAS

- A. Precisar lugar en el que se efectuaron las mediciones de oleaje.
- B. Precisar lugar al cual corresponden los resultados del estudio de olas.
- C. Breve descripción del régimen de olas del lugar de emplazamiento de la instalación portuaria, indicando altura significativa, longitud, período y direcciones predominantes de las olas incidentes.
- D. Altura máxima y dirección de la ola asociada a la ocurrencia de eventos extremos.

(Máximo una carilla para esta sección).

### IV. MAREAS

Breve descripción del régimen de mareas del lugar de emplazamiento de la instalación portuaria, indicando alturas máximas y mínimas en sicigias.

(Máximo una carilla para esta sección).

### V. FONDO MARINO

Caracterización del fondo marino, describiendo las capas, espesor y composición de éstas (fango, arena, arcilla, conchuela, piedras, etc.), hasta una profundidad de 2,5 metros, como mínimo, salvo en aquellos casos en que las características del subsuelo marino lo impidan, indicando los sectores estudiados, ya sea en coordenadas o en planos a escala.

(Máximo una carilla para esta sección).