

Selección del equipo de amarre y fondeo de un remolcador

Raúl Villa Caro. Ing. Naval y Oceánico / Capitán Marina Mercante.
Profesor de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Da
Coruña (España). Inspector Nuevos Barcos en Construcción. Armada
Española. raul.villa@udc.es

Luis Manuel Carral Couce. Dr. Ing. Naval (Ph. D). Profesor de la Escuela
Politécnica Superior de la Universidad Da Coruña (España)
lcarral@udc.es

José Ángel Fraguela Formoso. Dr. Ing. Naval (Ph. D). Profesor de la
Escuela Politécnica Superior de la Universidad Da Coruña (España).
jafraguela@udc.es

RESUMEN:

Las Sociedades de Clasificación (SC) Internacionales, destinan en sus reglamentos, capítulos y normas dirigidas al equipo de amarre y fondeo, en lo referente a su determinación para cada tipo de buque, el análisis de los materiales en él empleados y las pruebas que sufrirán los distintos elementos una vez construidos.

Este artículo versará sobre cómo afecta la aplicación de los diferentes reglamentos de las SC a la hora de dotar a un remolcador de sus sistemas de amarre y fondeo.

Se realizará una comparativa entre las exigencias de las SC a buques civiles y a buques militares.

PALABRAS CLAVE: Buques. Número de equipo. Sociedades de Clasificación

1.- INTRODUCCION

Las razones que han llevado a realizar este artículo corresponden a la necesidad de analizar toda la normativa existente sobre amarre y fondeo

El objetivo principal es analizar el estado del arte de la tecnología, comparando las normativas existentes de las diferentes SC, para investigar las analogías y diferencias que existirán en los equipos de amarre y fondeo dependiendo del reglamento de la SC propuesto, proponiendo unos mínimos que deben ser exigidos por cualquier SC y analizando si existirán, o no, grandes diferencias en el equipo de amarre y fondeo, dependiendo de la SC elegida.

2.- DESARROLLO

2.1 SISTEMA DE FONDEO

A continuación se va a proceder a explicar cómo determina el equipo de fondeo para cada buque una de las más importantes Sociedades de Clasificación del mundo, el “Lloyd’s Register of Shipping” (Parte 3, Capítulo 1, Sección 7).

En primer lugar se determina el tipo de buque de que se trata (Tabla 13.7.1), estableciendo una mención al servicio al que va a ser destinado, diferenciando así entre: buques de carga; petroleros; transbordadores; ganguiles; portacontenedores; pontonas; graneleros; pesqueros; dragas; gaseros; cargas pesadas; quimiqueros; remolcadores.

En segundo lugar se le asigna una mención al tipo de navegación para el que va a ser utilizado, pudiendo asignarle uno de los siguientes tipos: alta mar; pequeño cabotaje; gran cabotaje; aguas abrigadas.

Tras haberle asignado a nuestro buque la mención de servicio y el tipo de navegación, tenemos que obtener el “Equipment Number” o “Número de Equipo” por medio de la siguiente fórmula:

$$NE = \Delta^{2/3} + 2 \cdot B \cdot H + \frac{A}{10}$$

- NE: Número de equipo
- Δ : Desplazamiento de trazado para la flotación de verano, expresado en toneladas.
- B: Manga de trazado expresada en metros.
- H: Francobordo en la cuaderna maestra desde la cubierta superior hasta la flotación de verano, más la suma de las alturas, en la cuaderna maestra, de cada hilera de casetas con una manga superior a B/4, expresado en metros.
- A: Área del plano de crujía, dentro de la eslora reglamentaria del buque, y de la superestructura y casetas que se hallen por encima de la flotación de verano, y que además su manga sea mayor de B/4, expresada en metros cuadrados.

No obstante, la propia Sociedad de Clasificación hace una serie de consideraciones sobre el “numeral” y el equipo requerido, así por ejemplo para ciertos tipos de buques, con ciertos tipos de servicios, les reduce el valor del número de equipo para algunos componentes del equipo de fondeo, llegando incluso en algunos casos a eximirle de dotar al buque de alguno de dichos elementos.

Para el caso de los remolcadores, en el punto 1.7 de la Sección 7, se establece una fórmula específica para el cálculo del número de equipo, que es la siguiente:

$$N. E. = \Delta^{2/3} + 2(Bf + \sum bh) + 0.1A$$

- f: Francobordo en la maestra desde la flotación de verano
- Δ : Desplazamiento de trazado en la flotación de verano
- B: Manga de trazado máxima
- H: Altura de cada hilada de superestructura o caseta, en el costado, que tenga una manga de B/4 o mayor (no se tendrá en cuenta el arrufo ni el trimado) (m)
- B: Manga de la superestructura o caseta más ancha de cada hilada (m)
- A: Área en el plano de crujía dentro de la eslora reglamentaria del buque y de las superestructuras o casetas por encima de la flotación de verano que se

encuentren dentro de la eslora reglamentaria del buque, y que además tengan una manga mayor de $B/4$

Habiendo obtenido el tipo de buque, el tipo de servicio y su “número de equipo”, el proceso termina con la determinación del equipo requerido entrando con el “número” en las tablas, obteniéndose:

- Equipo de anclas de leva sin cepo (peso y número).
- Cadena de eslabones con concreto para la anclas de leva (longitud y diámetro según el tipo de acero empleado).
- Masa del ancla de espía y su cable o cadena (longitud y carga de rotura).

En general todas las Sociedades de Clasificación siguen procesos similares, con lógicas variaciones en la manera de determinación del equipo de fondeo.

Algunos utilizan la fórmula general a la que aplican algunas reducciones en función del tipo de buque y servicio que está destinado a prestar, mientras que otras, entre ellas el Lloyd's Register, emplean distintas fórmulas también en función del tipo de buque y servicio que está destinado a prestar, pero todas tienen en común el acompañar sus reglamentos de unas tablas de equipo requerido, como las anteriormente citadas, que resultan ser casi idénticas para todas ellas.

Ello es debido a que la International Association of Classification Societies (IACS), que es como un fórum que aglutina a todas las sociedades clasificadoras del mundo, ha servido para unificar criterios y eliminar el aislamiento en que trabajaban las distintas sociedades, creando el citado fórum. Como ejemplo de sus logros basta citar el acuerdo de que el peso del ancla o anclas de leva fuera el triple del “numeral” correspondiente a dicho buque, expresado en kilos.

En los años 60, la IACS echó por tierra todas las normas hasta entonces utilizadas con referencia al equipo de fondeo, pues hasta entonces solo se exigía que dicho equipo aguantara firmemente a los buques fondeados, hasta con fuertes vientos, en fondeaderos abrigados o semiabrigados, refiriéndose para ello solamente al peso del

ancla o anclas y al diámetro de la cadena; dejando el resto de los componentes de las instalaciones de fondeo a la improvisación de armadores y astilleros.

Con la llegada de los V.L.C.C. y U.L.C.C tuvieron que replantearse todas las normas hasta entonces vigentes en materia de equipo de fondeo, pues los pesos y magnitudes que correspondían a estos buques, bajo dichas normas, hacían impracticable el manejo con ligereza de las anclas, tal y como se suele hacer en muchas maniobras de buques pequeños.

Los muchos accidentes en que se han visto involucrados los equipos de fondeo, hicieron pensar a la IACS en la necesidad de adecuar dicho equipo a las nuevas construcciones, y comenzaron a considerar las fuerzas dinámicas existentes y la relación entre el peso muerto del buque y el diámetro de la cadena. Además se llegó a la conclusión de que no valía la pena sobredimensionar sólo uno de los elementos del nicho, pues automáticamente el fallo vendría por avería o rotura de alguno de los elementos más débiles.

Un conocimiento lo más exacto y profundo posible del equipo de fondeo de nuestro buque, nos permitirá evitar toda esa gama de accidentes, provocados por el mal uso o los excesivos esfuerzos que tienen lugar por el desconocimiento de la características y propiedades reales de nuestro equipo de fondeo. Muchas compañías, como medida preventiva, circulan informes o instrucciones a sus capitanes y oficiales sobre el uso y mantenimiento de los elementos que componen el equipo de fondeo, pero casi siempre suelen ser descripciones generales, y no ayudan a formar un juicio razonable ante una maniobra de este tipo.

Un informe razonable, y que realmente sirva de ayuda, para un capitán y oficiales, podría constar de:

- A) Posibilidades generales de toda la instalación de fondeo, incluyendo detalles precisos de todas sus partes y elementos componentes:
 - Tipo de ancla o anclas, peso, pruebas a las que fue sometida, así como su poder de agarre en los diversos tipos de fondo.

- Dimensiones de la cadena, grado, longitud a bordo, pesos parciales y totales, así como los resultados de sus pruebas de rotura.
 - Capacidad del molinete, potencia, capacidad de virado con el ancla a pique, velocidad máxima y óptima de virado, así como su capacidad de frenado.
 - Especificaciones sobre los distintos materiales empleados en los elementos del equipo de fondeo, desgaste por rozamiento y velocidad recomendable para reducir el riesgo de fallo de freno.
- B) Cuadros de datos en relación con las fuerzas generadas por las distintas condiciones meteorológicas y corrientes.
- C) Cuadros de datos, o en su defecto, medios aproximados para el cálculo del conocimiento de la capacidad que tiene el equipo de fondeo para absorber las inercias generadas por el movimiento del buque.

El correcto y total reconocimiento de los medios que tenemos a nuestro alcance en todo tipo de maniobras, evitará que se produzcan accidentes innecesarios con cuantiosos daños materiales, y lo que es peor, posibles pérdidas de vidas humanas.

2.2 SISTEMA DE AMARRE

La normativa internacional sobre el amarre de buques es muy escasa y poco exigente.

No parece que los organismos competentes en lo que se refiere a la construcción, armamento y explotación del buque hayan dado una gran importancia a esta fase de la vida del buque.

No existen normas ajustadas y obligatorias que, como en otros aspectos, y basándose en unos cálculos de cierta precisión, determinen las características del equipo o estructura a instalar. Los astilleros y armadores fijan las condiciones del equipo de amarre en función de la experiencia o de normas internas, sin unas directrices, exteriores fiables.

El resultado es un buque orientado para la navegación en alta mar y, normalmente, preparado para el fondeo, pero muchas veces, poco adecuado técnicamente para la estancia en puerto.

El problema es fundamentalmente de competencias: ¿Quién debe fijar las normas sobre el equipo de amarre, la maniobra, la disposición de amarras y defensas, etc.? No acaba de estar claro si son las Sociedades de Clasificación, los armadores, los astilleros, los puertos o los Capitanes. Probablemente todos tienen mucho que decir, y se hace necesario un acuerdo sobre el tema.

Es indudable que los resultados económicos mejorarían para todos, tanto evitando accidentes, como aumentando la rentabilidad de buques y puertos.

Unas de las instituciones más importantes dentro de la reglamentación de buques, al igual que ocurre con los sistemas de fondeo, son las Sociedades de Clasificación. Los organismos de este tipo emiten directrices que afectan a gran cantidad de aspectos de la construcción y armamento del buque, con el objetivo prioritario de la seguridad. Los buques que cumplen con tales requisitos reciben la certificación de la Sociedad en cuestión y son asegurados por ella.

Hasta el momento, los Reglamentos de las Sociedades de Clasificación de Buques se limitan a dar recomendaciones no obligatorias sobre el equipo de amarre. Pero además, tales orientaciones resultan insuficientes.

Analizaremos de nuevo, y como muestra, el Reglamento del Lloyd's Register of Shipping (LRS) y el del Bureau Veritas (BV), dos instituciones de reconocido prestigio internacional también en el amarre:

- Número de equipo: (L.R.S 3.1.7) (BV 4-32)

El número de equipo, como ya se ha definido, es una cifra característica de cada buque que sirve como base para el cálculo del equipo de amarre y fondeo, las cadenas del ancla y las estachas. Se define de forma general, como ya sabemos:

$$NE = \Delta^{(2/3)} + 2 B H + A / 10$$

donde:

NE = Número de equipo

Δ = Desplazamiento del buque al calado de verano

B = Manga

H = Francobordo en la maestra (altura desde la flotación a la cubierta superior).

A = Area lateral por encima de la flotación, dentro de la eslora entre
perpendiculares

Sobre un buque remolcador tipo, con las siguientes condiciones de viento y corriente:

- Viento: 48 nudos en dirección paralela a crujía.
- Corriente: 2.5 m/s en dirección paralela a crujía.

y suponiendo una longitud de cadena de 5 a 10 veces el calado, se calculan las fuerzas que debe soportar el buque, determinándose las características de la cadena y el ancla. Con esas mismas hipótesis se fija el equipo de amarre.

Ahora bien, las condiciones de cálculo no son extremas, y en cualquier caso, el comportamiento del buque atracado es diferente al del buque fondeado. Por otra parte, no entran en consideración otros factores, como la influencia del estado de carga del buque, que hace variar la superficie expuesta al viento o a la corriente, la componente lateral de la fuerza o el momento de giro, la influencia del calado reducido, etc.

Por todo ello, el cálculo no resulta ajustado, y probablemente habría que pensar en una nueva orientación, con condiciones más exigentes, como por ejemplo:

- Viento: 60 nudos en cualquier dirección
- Corriente : 4 nudos formando ángulos de hasta 5° con crujía
- Estimación de la influencia del resguardo bajo la quilla ("underkeel clearance").

todo ello recogido en tablas particulares para cada tipo de buque, que presente diferente superficie expuesta.

Aun así, no resulta suficiente una consideración estática del problema, en la que las fuerzas exteriores se ven equilibradas con las restricciones debidas a las amarras y defensas:

$$R_x = F_x$$

$$R_y = F_y$$

Debemos tener en cuenta que el comportamiento del buque amarrado incluye fenómenos más complicados, que no pueden ser despreciados ni simplificados en muchos casos.

Si bien el número de estachas del que esté dotado un buque viene determinado por el número de equipo (NE), es habitual que se vean incrementadas hasta el doble de las recomendadas. Para grandes buques, por ejemplo, NE=14600, la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas indica un número de 21 estachas de 200 metros de longitud cada una, con una carga de rotura (CR) no inferior a 75 tons. No es prudente equipar al buque con amarras de CR superior al que le corresponde por su NE, ya que podrían arrancar los polines del equipo de cubierta.

En términos generales para esloras inferiores a 90 metros no hay requisitos procedentes por su clasificación. Se debe cumplir que la suma de toda la resistencia de los cabos no sea inferior a la CR de la cadena de las anclas, que el cable de remolque no sea inferior al 40% de la CR de la cadena del ancla, que la fuerza de tracción de los chigres de cada costado no sea inferior a 1.5 la CR de los cabos exigidos, y que el freno de los chigres deba empezar a ceder al llegar al 50% de la CR del cabo, cuando se encuentre en la primera capa de estiba en el tambor.

En cuanto al número de estachas requerido para un amarre seguro, este dependerá mucho del criterio de los oficiales responsables, tanto de a bordo por parte del capitán u oficial de guardia, como ajenos al buque, como son el práctico (*mooring master*); o del método y procedimiento de amarre que siga una determinada terminal: de tipo convencional, sea islands, monoboaya, jetties, etc.

Porcentajes de utilización por método de amarre:

Tabla 1

TIPO DE AMARRE					
PM BUQUE	COSTADO	CAMPO BOYAS	MONO-BOYAS	POPA MUELLE	MUERTOS
10000 A 25000	85%	10%	-	2%	3%
25000 A 60000	70%	15%	3%	2%	10%
MAYOR A 60000	52%	35%	8%	-	5%

Tipo de amarre

La estacha de amarre recibe su denominación según sea la posición en que trabaja:

- Si sale de proa y trabaja hacia proa, o bien, sale de popa y trabaja hacia popa, se denomina “largo” (formando un ángulo de 30° con la línea del muelle o crujía del buque).
- Si trabaja en dirección sensiblemente perpendicular al plano longitudinal del buque y línea de muelle, se denomina “través”.
- Si trabaja en sentido de proa a popa, o bien, de popa a proa, se denomina “retenida” o “sprin” (La palabra esprín es una asimilación de la palabra ingles spring, muelle).

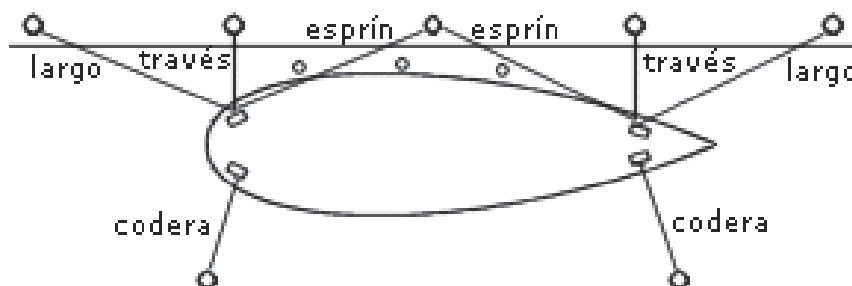


Ilustración 1

Disposición de amarre tipo

He aquí una disposición de amarre tipo, que puede valer, con las adaptaciones necesarias, en todo tipo de buques y muelles.

Se disponen largos de proa y popa, traveses casi perpendiculares al buque y springs cortos y paralelos al buque.

Las condiciones de las amarras se ven mejoradas al aumentar su longitud, por el hecho de estar los bolardos alejados del buque.

Siendo el método de atraque y por tanto, de amarre, el de costado, el número de estachas y su distribución respecto al atraque, para buques petroleros y para bulkcarriers, suele ser:

TIPO	LARGO PROA	TRAVES PROA	ESPRIN PROA	ESPRIN POPA	TRAVES POPA	LARGO POPA	TOTAL
B/T<20 KT	3	1	2	2	2	3	13
20-40 KT	3	2	2	2	2	3	14
40-60 KT	3	2	2	2	2	3	14
>60 KT	4	2	2	2	2	3	15
BULK<20 KT	3	1	1	1	0	3	9
20-40 KT	3	1	1	1	0	3	9
>40 KT	3	2	2	2	1	3	13

Número de estachas y su distribución con respecto al atraque

2.3 SISTEMAS DE AMARRE Y FONDEO EN BUQUES DE GUERRA

A pesar de que los buques de guerra están exentos de tener que cumplir los reglamentos de las Sociedades de Clasificación, en los últimos años, bajo la tutela del “Naval Ship Code”, las SC han creado reglamentos específicos para buques de Guerra, que se reconocen rápidamente porque incorporan el apellido “Naval Rules” en su nombre.

Se va a realizar un estudio de tres tipos de buques, de portes diferentes, y aplicados a varias SC.

3.- RESULTADOS

3.1 SISTEMA DE FONDEO

Una vez detallada la forma de calcular el número de equipo de acuerdo con la normativa del Lloyd's (LRS), se va a realizar una comparativa del cálculo, comparando los reglamentos de las principales sociedades de clasificación. Se van a estudiar cinco sociedades (ABS, BV, DNV, GL, y LRS).

De todas ellas, sólo Bureau Veritas (BV) utiliza una fórmula diferente para el cálculo del número de equipo. Utiliza una fórmula simplificada que sólo tiene en cuenta las dimensiones principales del buque. La fórmula responde a:

$$NE = K(LBD)^{2/3}$$

Se toma un coeficiente K=1.3, para remolcadores sin restricción (y K=2.2 para el resto).

Obteniendo datos de las tablas de número de equipo de las cinco sociedades se va a realizar una comparativa suponiendo un remolcador tipo de 24 metros de eslora:

Tabla 3

	ABS	BV	DNV	GL	LRS
Número de equipo	145	134	145	145	145
Ancla de leva sin cepo:					
• Número	2	2	2	2	2
• Peso por ancla (kg)	390	400	420	420	420
Cadena de ancla de leva con concreto (m):					
• Longitud	275	192.5	275	275	275
Diámetro cadena (mm):					
• Acero normal	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5
• Acero resistente	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5

Se adjunta como ejemplo la tabla del Lloyd's:

Tabla 4

13.7.2 Equipment – Bower anchors and chain cables

Equipment number		Equipment Letter	Stockless bower		Stud link chain cables for			
Exceeding	Not exceeding		Number	Mass of anchor, in kg	Total length, in metres	Diameter, in mm		
						Mild steel (Grade 1 or U1)	Mild steel (Grade 1 or U1)	Extra special quality steel (Grade U3)
50	70	A	2	180	220	14	12,5	-
70	90	B	2	240	220	16	14	-
90	110	C	2	300	247,5	17,5	16	-
110	130	D	2	360	247,5	19	17,5	-
130	150	E	2	420	275	20,5	17,5	-
150	175	F	2	480	275	22	19	-

Los requerimientos para el número de anclas y diámetros de cadena son iguales para todas las SC, sin embargo existe una pequeña diferencia en el peso del ancla y la longitud de cadena. Bureau Veritas es la SC menos estricta en sus requerimientos, exigiendo un ancla de menor peso, y menos longitud de cadena, respecto a las otras SC.

Los resultados de la tabla 1, podrían verse minorados si consideramos al remolcador como de “servicio restringido” y le aplicamos las reducciones que permiten las SC. Cada SC aplica de una forma estas reducciones que se resumen en:

- ABS: Especifica que se podría realizar una reducción, pero no la cuantifica. Lo deja a discreción de la Sociedad.
- BV: Incluye un coeficiente reductor ($K=2.2$) que se aplica en la fórmula de cálculo del EN.
- GL: Permite la selección de un equipo de fondeo correspondiente a un número menor al calculado.
- LRS: También permite la selección de un equipo de fondeo correspondiente a un número menor al calculado (exactamente permite reducir al equipo que aparece dos filas por debajo en las tablas del EN).
- DNV: Reduce un tanto por cierto los requerimientos, de acuerdo con una tabla que aparece en el reglamento, y que es:

Tabla 5

Table C3 Equipment reductions for service restriction notations. (See Table C1)				
<i>Class notation</i>	<i>Stockless bower anchors</i>		<i>Stud-link chain cables</i>	
	<i>Number</i>	<i>Mass change per anchor</i>	<i>Length reduction</i>	<i>Diameter</i>
R2	2	- 10%	No red.	No red.
R3	2	- 20%	No red.	No red.
R4	2	- 30%	- 20%	- 10%
RE	2	- 40%	- 30%	- 20%
Alternatively:				
R3	1	+40%	- 40%	No red.
R4	1	No change	- 50%	No red.
RE	1	- 20%	- 60%	- 10%

Obteniendo las cantidades correspondientes a las restricciones se procede a elaborar la tabla de forma análoga a la anterior para el mismo remolcador tipo de 24 metros de eslora:

Tabla 6

	ABS	BV	DNV	GL	LRS
Número de equipo	145	134	145	145	145
Ancla de leva sin cepo:					
• Número	2	2	2	2	2
• Peso por ancla (kg)	390	350	378	360	300
Cadena de ancla de leva con concreto (m):					
• Longitud	275	192.5	275	247	275
Diámetro cadena (mm):					
• Acero normal	20.5	20.5	20.5	19	20.5
• Acero resistente	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5

3.2 SISTEMAS DE AMARRE:

Partiendo del cálculo del EN del apartado anterior, se va a realizar, de forma análoga a como se ha hecho con el fondeo, una comparativa de las SC para el cálculo del equipo de amarre del remolcador.

Tabla 7

	ABS	BV	DNV	GL	LRS
Número de equipo	145	134	145	145	145
Estacha de remolque:					
• Longitud Mínima (m)	180	-	180	180	180
• Resistencia mínima a la rotura (kN)	98	-	98	100	98
Estachas de amarre:					
• Número	3	2	3	3	3
• Longitud Mínima (m)	120	71.5	120	120	120
• Resistencia mínima a la rotura (kN)	54	110	49	50	49

De nuevo, como en fondeo, resultados similares a excepción de BV.

3.3 SISTEMAS DE AMARRE Y FONDEO EN BUQUES DE GUERRA

Si por el contrario analizamos un buque de guerra de desplazamiento medio de 20000 toneladas, le corresponderá un “NE” aproximado de 1800.

De acuerdo con la Sociedad de Clasificación Lloyd’s Register (Rules and Regulations for the Classification of Naval Ships, July 2002), para este tipo de buque que nos ocupa (Servicio no Restringido), se requiere el equipo dado en la tabla 13.7.2 de su reglamento, por lo que para el Número (NE) calculado, se tiene que: NE = 1800 y

1790 < 1800 < 1930; Letra F+.

Pero de acuerdo con el volumen 1, parte 3, capítulo 5, Sección 2, de las reglas de la Sociedad de Clasificación específicas para buques de guerra (Lloyd’s Register. Rules and Regulations for the Classification of Naval Ships, January 2002), el Número de Equipo se calcula de forma similar a las reglas de la Sociedad para buques civiles, pero sin embargo, este número debe verse afectado por un coeficiente específico dependiente del porte del buque de guerra. En este caso, el número debe multiplicarse por 1.25, luego:

$$NE = 1800 \times 1.25 = 2250$$

Con este nuevo número (NE) calculado, y utilizando la tabla 5.5.1 de la referencia anterior se tiene que:

$$NE = 2250$$

$$2230 < 2250 < 2380; \text{ Letra I+}$$

Para el dimensionamiento de las estachas de amarre se suele utilizar la resistencia recomendada por la Sociedad de Clasificación aplicada a buques de guerra.

Si consideramos que estamos diseñando un buque de más de 90 m de eslora, de acuerdo con el apartado 7.1.3 del capítulo 5, parte 3 del volumen 1 de la referencia anterior del Lloyds para buques de guerra, se recomienda que la suma de las resistencias de todas las estachas de amarre utilizadas, no sea menor que la carga de rotura de la cadena de ancla reglamentaria de Grado U2, resultando un número de estachas consideradas de cinco.

A la vista de lo anterior se puede contrastar este número, con las estachas instaladas en las fragatas españolas (tanto de la serie F-100, como las antiguas FFG). Las fragatas suelen estar dotadas de seis estachas de amarre (y un cabo de remolque), basadas en cabo elaborado con la combinación de dos materiales, polipropileno multifilamento y poliéster, ambos de alta tenacidad, confeccionado con dos elementos concéntricos; un alma central trenzada que soporta la mayor parte de la resistencia y una cubierta trenzada que asegura la protección y completa la resistencia.

Estas estachas, a través de la combinación de los dos materiales, tienen una mayor duración al roce y una mayor resistencia, manteniendo la propiedad esencial de la flotabilidad. Considerando las cargas de rotura mínimas necesarias, se eligen las estachas de amarre. El tipo de estacha usado en las F-100 es la duplex Compos (56 mm de diámetro, 220 m de longitud y 60527 kg de carga de rotura), aunque se podrían considerar otro tipo de estachas de similar carga de rotura.

Si variamos de tipo de buque de guerra, analizando ahora un barco tipo patrullero o buque de acción marítima, más cercano en eslora a nuestro remolcador, y bajo otro

reglamento de clasificación, nos encontraremos ante un buque que va a incorporar igualmente un sistema de amarre que conste de dos áreas. En este caso analizaremos el sistema de amarre y remolque correspondiente, calculado según la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas para un buque de guerra que cuente con el equipo de fondeo calculado según el “Design Procedures for Anchor and Windlasses”.

Para el cálculo de los elementos correspondientes al sistema de amarre, se comienza por estudiar la carga mínima de rotura que establece la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas para buques de guerra, la cual ha de ser la siguiente:

$$BL = \frac{F_s}{n}$$

Siendo “Fs” la fuerza transversal debida al viento, y “n” el número de estachas de amarre de través. La fuerza debida al viento en la dirección transversal viene dada por la fórmula:

$$F_s = \frac{2,382 \cdot A \cdot (h+18)}{h+60}$$

donde:

A: área lateral expuesta al viento, por encima de la línea de flotación de verano

h: altura media sobre la línea de flotación, la cual se calcula como

$$h = \frac{2A}{3L} = 5,8 \text{ m}$$

(valor aproximado de un buque de poca eslora)

L: eslora que corresponderá a un valor entre un 96% y un 97% de la eslora de flotación de verano.

Considerando una fuerza estática transversal debida al viento aproximada de 650 kN, y de acuerdo con la Sociedad de Clasificación, como mínimo el buque contará con dos estachas de través y además, el diámetro de las estachas será de menos de 72 mm.

Por lo tanto, la carga mínima de rotura de las estachas de través será de $650/2=325$ KN.

La Sociedad de Clasificación Bureau Veritas determina el número de estachas de amarre con las que el buque tendrá que contar, que son en total ocho:

- Largo de proa y largo de popa.
- Spring en zona de proa y en zona de popa.
- Través en zona de proa y través en zona de popa.
- Dos estachas de reserva (través y spring)

La longitud de las estachas de amarre será, según la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas, la siguiente:

- Para través y spring, de entre $0,7 \cdot L$ y L . (Siendo L la eslora correspondiente a la flotación de verano). Para un patrullero, estaríamos entre 61 m y 87 m.
- La longitud de los largos de proa y popa, debe ser de 1,5 veces la eslora correspondiente a la flotación de verano.

Si las comparamos con las longitudes recomendadas por la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register para buques de guerra, estas últimas serían más demandantes. Para el Patrullero, según esta última Sociedad de Clasificación, se recomiendan las siguientes estachas de amarre:

- Cuatro estachas para el amarre
- Longitud de cada estacha, 180 m
- Carga mínima de rotura, 166 kN

Para finalizar el análisis de los buques de guerra, se pasará a estudiar un portaaviones:

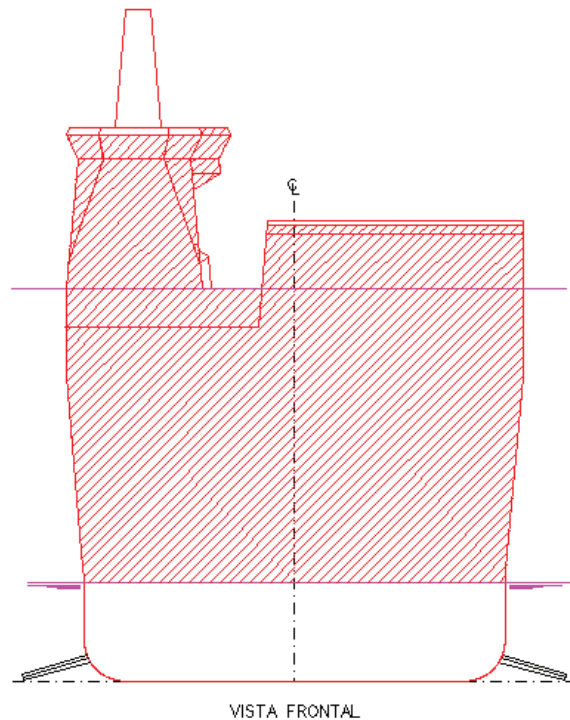


Ilustración 2

Si analizamos un buque de aproximadamente 25000 toneladas de desplazamiento y 200 m. de eslora, sustituyendo valores en la fórmula del cálculo de número de equipo:

$$N_c = \Delta^{2/3} + 2BH + \frac{A}{10}$$

Nos arrojará un NE en torno a 3400. Y de acuerdo con la tabla 13.7.1 antes mencionada, para el tipo de buque que nos ocupa (Servicio no Restringido), se requiere el equipo dado en la tabla 13.7.2 de la misma referencia. Para el Número (NE) calculado, se tiene que:

$$N_c = 3400$$

$$3400 < 3400 < 3600; \text{ Letra P}^+$$

Un buque de este porte incorporará equipos de amarre en las áreas de proa, áreas centrales y áreas de popa:

Para el dimensionamiento de las estachas de amarre se puede utilizar la resistencia recomendada por la Sociedad de Clasificación, con el condicionante de que la carga

de rotura utilizada para el cálculo de las estachas, esté basada en los eslabones de la cadena calculada por el método utilizado por la Marina Americana.

De esta forma resultarán unos valores aproximados a:

- Cadena Grado U3 calculada: 95 mm
- Cadena Grado U2 equivalente: 107 mm
- Carga de Rotura: 5570 kN = 567788 kg
- N° de estachas consideradas: 6
- Carga de rotura mínima: 94631 kg

Por tratarse de un buque de más de 90 m de eslora, de acuerdo con el apartado 7.5.3 del capítulo 13, sección 7 de la referencia "Rules and Regulations for the Classification of Ships (July 2002)", se recomienda que la suma de las resistencias de todas las estachas de amarre utilizadas, no sea menor que la carga de rotura de la cadena de ancla reglamentaria de Grado U2.

Podemos comparar el valor obtenido, con el que precisaría el buque de acuerdo con las reglas de la Sociedad de Clasificación:

- Cadena Grado U2 reglamentaria: 90 mm
- Carga de Rotura: 4090 kN = 416922 kg
- N° de estachas consideradas: 6
- Carga de rotura mínima: 69487 kg

Destacar que la carga de rotura calculada para las estachas adoptadas supera en un porcentaje superior al 30% las reglamentadas por la Sociedad de Clasificación.

4.- CONCLUSIONES

Cuando se analiza el equipo de fondeo aplicado a las cinco SC, para remolcador no restringido, los resultados son prácticamente iguales (con la excepción de BV), pero sin embargo, cuando se aplican las restricciones, se pierde gran parte de esa unificación, como se observa en la tabla 4.

En el caso del equipo de amarre, de nuevo, nos encontramos con resultados similares, a excepción de BV, que es menos restrictiva.

Al hacer la comparativa en buques de guerra, de porte similar a un remolcador comprobamos como la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas es más demandante en lo referente a número de estachas y a carga mínima de rotura. Por esta razón, sería mejor considerar para la elección de las estachas de amarre, las características más demandantes de cada una de las Sociedades de Clasificación.

El resultado final sería el siguiente:

- Ocho estachas para el amarre
- Longitud de cada estacha, 180 m
- Carga mínima de rotura, 325 kN

5.- BIBLIOGRAFÍA

Capítulos referentes a la “Sección de Equipo” de las siguientes Sociedades de Clasificación:

- American Bureau of Shipping (ABS).
- Lloyds Register (LR).
- Bureau Veritas (BV).
- Det Norske Veritas (DNV).
- Germanischer Lloyd (GL).
- Rules and Regulations for the Classification of Naval Ships, July 2002 (LR).
- Naval ships (BV).
- Design Procedures for Anchor and Windlasses.