



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

PROGRAMA DOCTORADO: INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

TESIS DOCTORAL

**SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES:
SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA**

Autor: Raúl Villa Caro

Director: Luis Manuel Carral Couce

Fecha: Marzo 2015

Luis Manuel Carral Couce, Profesor Titular de Universidad del Departamento de Ingeniería Naval y Oceánica de la Universidad de A Coruña,

CERTIFICA:

Que la memoria titulada: *SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA* ha sido realizada por Don Raúl Villa Caro bajo mi dirección en el Departamento de Ingeniería Naval y Oceánica de la Universidade da Coruña, y constituye la Tesis que presenta para optar al grado de Doctor.

Ferrol a 10 de marzo de 2015

INDICE DE LA TESIS:

1	RESUMEN.....	5
2	INTRODUCCIÓN	5
3	OBJETIVOS	10
4	ESTADO DEL ARTE	11
4.1	MANIOBRA DE AMARRE	12
4.2	CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AMARRE ATENDIENDO AL MATERIAL UTILIZADO.....	13
4.2.1	AMARRE CON ESTACHAS	13
4.2.2	AMARRE CON CABLE.....	15
4.2.3	AMARRE MIXTO	15
4.2.4	SISTEMAS AVANZADOS DE AMARRE. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS ATENDIENDO AL PRINCIPIO FÍSICO UTILIZADO	15
4.2.4.1	AMARRE POR VACÍO. IRON SAILOR SERIES.....	17
4.2.4.1.1	SUPERVISIÓN Y CONTROL DE INTERFACES	18
4.2.4.1.2	DESARROLLO DEL SISTEMA	18
4.2.4.1.3	VENTAJAS DEL SISTEMA DE AMARRE.....	20
4.2.4.1.4	SOLUCIONES PARA TERMINALES DE CONTENEDORES.....	22
4.2.4.1.5	SOLUCIONES PARA TERMINALES Ro-Ro y FERRIES	23
4.2.4.2	SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE AMARRE: TTS	27
4.2.4.2.1	BOLARDO SEMIAUTOMÁTICO DE AMARRE	27
4.2.4.2.2	CHIGRE DE AMARRE.....	28
4.2.4.3	SISTEMA DE AMARRE HIDRÁULICO: SHORE-TENSION.....	28
4.2.4.4	AMARRE AUTOMÁTICO BASADO EN TRINCAJE.....	33
4.3	INSTALACIONES PORTUARIAS	34
4.3.1	CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE UN PUERTO	36
4.3.2	MOVIMIENTOS DEL BUQUE ATRACADO	37
4.3.3	AMPLITUDES ADMISIBLES.....	42
4.3.4	FUERZAS EXTERIORES	44
4.3.5	TÉCNICAS DE ESTUDIO DE LA AGITACIÓN PORTUARIA	47
4.3.6	REVISIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS	48
4.3.7	SOLICITACIONES EXTERIORES DEL BUQUE	48
4.3.7.1	VIENTO	49
4.3.7.2	CORRIENTE	51
4.3.7.3	OLEAJE	53
4.3.8	RESONANCIA POR FENÓMENOS DE ONDA LARGA.....	55
4.3.9	MAREAS.....	58
4.3.10	PASO DE BUQUES	58
4.3.11	CARGA Y DESCARGA.....	58
4.3.12	SISTEMAS DE DEFENSAS.....	59

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

4.3.12.1	DEFENSAS DE MADERA	59
4.3.12.2	DEFENSAS DE GOMA.....	60
4.3.12.3	SISTEMAS HIDRÁULICOS E HIDRONEUMÁTICOS.....	61
4.3.12.3.1	DEFENSA FLOTANTE HIDRONEUMÁTICA.....	62
4.3.12.4	RESORTES	62
4.3.13	SELECCIÓN DEL TIPO DE SISTEMA DE DEFENSA.....	62
4.3.14	CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS INSTALACIONES PORTUARIAS DE ATRAQUE Y AMARRE.....	64
4.4	CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES Y CABOS DE AMARRE.....	66
4.4.1	CABLES DE ACERO.....	69
4.4.2	EL ALMA.....	77
4.4.3	CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES	78
4.4.4	CABLES Y CABOS PARA BUQUES.....	87
4.4.5	APLICACIONES.....	88
4.4.6	CONDICIONES DE TRABAJO DE LOS CABLES.....	91
4.4.7	CABOS DE FIBRA.....	95
4.4.7.1	DATOS , MEDIDAS Y TOLERANCIAS DEL POLIPROPILENO	98
4.4.7.2	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL POLIPROPILENO.....	99
4.4.7.3	ENSAYOS.....	101
4.4.7.4	INSPECCIÓN Y RECEPCIÓN	105
4.4.7.5	CABO TESTIGO DE MÁXIMO ESTIRAMIENTO PARA ESTACHAS	105
4.5	ELEMENTOS QUE COMPONEN LA MANIOBRA DE AMARRE.....	105
4.5.1	BITAS	106
4.5.2	CORNAMUZAS.....	108
4.5.3	GUÍAS Y GUÍACABOS (ALAVANTES Y GATERAS DE AMARRE).....	109
4.5.4	CARRETELES.....	112
4.5.5	CABRESTANTES	114
4.5.6	CHIGRES.....	119
4.5.7	DEFENSAS.....	125
4.5.8	NORAYS Y BOLARDOS.....	125
4.5.9	SITUACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE AMARRE, FONDEO Y REMOLQUE .	126
4.6	EFFECTOS DE LAS ESTACHAS.....	128
4.6.1	FUERZAS QUE DEBEN SOPORTAR LAS AMARRAS Y EFICACIA DE LAS MISMAS	128
4.6.2	DISPOSICIÓN Y DEFINICIÓN DE UN PLAN DE AMARRE	133
4.6.3	FUNCIONES DE LAS AMARRAS. ENSAYOS	139
4.6.4	FUERZA NECESARIA PARA ATRACAR EL BUQUE ACERCÁNDOLO PARALELAMENTE AL MUELLE.....	141

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

4.6.5	INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE LAS AMARRAS	145
4.6.6	EFFECTOS DE LOS AGENTES EXTERNOS SOBRE LAS ESTACHAS	147
4.6.7	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE FUERZA RELACIONADAS CON LAS ESTACHAS.....	148
4.7	PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO DEL EQUIPO DE AMARRE	149
4.7.1	GENERAL.....	149
4.7.2	NÚMERO DE EQUIPO.....	149
4.7.3	CARRETELES DE AMARRE.....	150
4.7.4	CABRESTANTE Y CHIGRE.....	151
4.7.4.1	HIPÓTESIS DE CÁLCULO	152
4.7.4.2	ELECCIÓN DEL TIPO DE CABRESTANTE	154
4.7.4.3	DIMENSIONES Y FORMA DEL CABIRÓN.....	155
4.7.4.4	RELACIÓN DE TRANSMISIÓN.....	155
4.7.4.5	POTENCIA REQUERIDA POR CABRESTANTE	156
4.7.5	DIMENSIONAMIENTO DE BITAS Y GUÍAS.....	157
4.7.6	DISPOSICIÓN DE ZONA DE AMARRE DE PROA Y POPA.....	160
4.7.7	REQUISITOS DE PASO POR EL CANAL DE PANAMÁ	160
4.7.7.1	COMENTARIOS A LOS REQUISITOS DE PASO POR PANAMÁ	161
4.7.8	ELECCIÓN DE LAS DEFENSAS	162
4.7.9	RECOMENDACIONES GENERALES	164
4.8	INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE AMARRE	166
4.8.1	DIRECTRICES GENERALES E INSPECCIÓN DEL AMARRE	166
4.8.2	MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE AMARRE.....	169
4.8.2.1	INSTRUCCIONES RELATIVAS A LA SEGURIDAD. MAQUINILLAS / MAQUINILLAS DE AMARRE	172
4.8.2.2	INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD RELATIVAS A CABLES.....	173
4.8.2.3	INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD PARA EL CABIRÓN.....	173
4.8.2.4	REQUISITOS ESENCIALES DE SEGURIDAD.....	173
4.8.2.5	EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	175
4.8.2.6	PRECAUCIONES EN LAS OPERACIONES DE AMARRE Y FONDEO... ..	176
4.8.2.7	INSTRUCCIONES PARA UNA MANIOBRA SEGURA DE AMARRE.....	180
4.8.2.8	SEGURIDAD EN MANIOBRAS DE DESATRAQUE / DESAMARRE.....	181
4.8.3	PRUEBAS FUNCIONALES DE ACEPTACIÓN	182
4.8.3.1	EJEMPLO DE PROTOCOLO DE PROCEDIMIENTO DE AMARRE:	183
4.8.4	ELASTICIDAD Y ENVEJECIMIENTO DE LAS ESTACHAS.....	190
4.9	REGULACIÓN Y REGLAMENTACIÓN: NORMAS Y REFERENCIAS.....	198
4.9.1	EN EL ÁMBITO NACIONAL	198
4.9.2	EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL.....	198
4.9.3	SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN	200

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

4.9.4	REGLAMENTOS INTERNACIONALES	203
5	METODOLOGÍA INVESTIGADORA	204
6	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	206
6.1	COMPARATIVA DEL CÁLCULO DEL NÚMERO DE EQUIPO Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE AMARRE Y FONDEO EN BUQUES CIVILES	206
6.1.1	SISTEMA DE AMARRE Y FONDEO	206
6.1.2	ESTUDIO COMPARATIVO DE MATERIAL A UTILIZAR EN AMARRAS DE ACUERDO CON LAS SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN.....	209
6.1.3	SELECCIÓN DE NÚMERO, TAMAÑO Y RESISTENCIA DE LÍNEAS	213
6.1.3.1	NÚMERO	213
6.1.3.2	TAMAÑO.....	214
6.1.3.3	LONGITUD.....	215
6.1.3.4	RESISTENCIA. CONSIDERACIONES GENERALES	215
6.2	COMPARATIVA DEL CÁLCULO DEL NÚMERO DE EQUIPO Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE AMARRE Y FONDEO EN BUQUES DE GUERRA	216
6.3	COMPARATIVA DE LOS SISTEMAS NOVEDOSOS DE AMARRE	227
6.4	VIABILIDAD FUTURA DE LOS SISTEMAS NOVEDOSOS DE AMARRE. APLICACIÓN AL PUERTO EXTERIOR DE FERROL.....	229
6.4.1	VACUUM BASED AUTOMOORING (TTS GROUP).....	231
6.4.2	MOORMASTER (CAVOTEC).....	231
6.4.3	SHORETENSION (KRVE)	237
6.5	ERRORES FRECUENTES DETECTADOS EN EL AMARRE.....	237
6.5.1	BÚSQUEDA Y ANÁLISIS DE AMARRES INADECUADOS. ESTADO ACTUAL.....	237
6.5.2	RECOMENDACIONES FUTURAS.....	243
6.6	ACCIDENTES EN OPERACIONES DE AMARRE	245
6.6.1	ESTUDIO Y ELABORACIÓN DE ESTADÍSTICAS RELACIONADAS CON ACCIDENTES OCURRIDOS DURANTE LAS OPERACIONES DE AMARRE	245
6.6.2	PRECAUCIONES Y ACCIONES QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA.....	248
6.7	ANÁLISIS DE NORMAS RELACIONADAS CON EL EQUIPO DE AMARRE	250
6.7.1	NORMAS DE: SSCC, ISO Y OMI	250
6.7.2	NORMAS ISO	254
6.8	EVOLUCIÓN FUTURA.....	256
6.8.1	REGLAMENTOS DE LAS SSCC Y NORMAS ISO	256
6.8.2	REQUERIMIENTOS TÉCNICOS RELATIVOS AL PUERTO Y AL BUQUE.....	259
6.8.3	REQUERIMIENTOS TÉCNICOS RELATIVOS A AMARRAS DEL BUQUE.....	262
6.8.4	REQUERIMIENTOS TÉCNICOS RELATIVOS AL EQUIPO DE AMARRE.....	264
7	CONCLUSIONES.....	267
8	BIBLIOGRAFÍA.....	274

TÍTULO DEL TRABAJO DE LA TESIS DOCTORAL

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”.

1 RESUMEN

A pesar del papel importante que representa en un buque su maquinaria de propulsión, cuando un buque ocupa su atraque para llevar a cabo las operaciones de carga y descarga, su propulsión es desplazada a un segundo plano, y el buque queda a merced de las condiciones atmosféricas de viento y corriente del lugar, que le obligan a ser amarrado al muelle.

El amarre es el sistema que menos ha evolucionado en los buques. Se basa en un principio que apenas ha sido modificado a lo largo de la historia. Junto al fondeo, forman los sistemas más arcaicos de la tectología naval, pero a diferencia de este, el amarre se debería prestar más a la evolución, ya que el buque no se mueve una vez que ha sido amarrado.

Es necesario realizar un análisis de la escasa normativa existente relacionada con los equipos de amarre, para que se pueda navegar con rumbo a una estandarización de los citados equipos, fundamentada en todas las normas ISO y reglamentos de las Sociedades de Clasificación de buques.

Las estadías, que definen la fase portuaria del buque, son muy importantes en la explotación del mismo. Durante su vida operativa, los buques pasan entre un 15% y un 45% en los puertos, por lo que los dispositivos que unen los barcos a los muelles tienen mucha importancia.

Los accidentes en las operaciones de amarre pueden tener consecuencias muy graves para el personal. Nuevos y revolucionarios sistemas de amarre pueden ayudar a reducir estos accidentes.

2 INTRODUCCIÓN

Casi todo el mundo conoce aquel dicho popular que dice que “los marinos tenemos una novia en cada puerto”, aunque pocos serán los que lo sigan creyendo. Yo mismo tengo que reconocer, que en mi etapa anterior a la de Ingeniero Naval, visité numerosos puertos, pero

Las nuevas tecnologías del transporte marítimo han creado una conciencia de necesidad de celeridad en las operaciones portuarias, pero aun así, resulta sorprendente conocer que del total de la vida operativa de los buques, una buena parte de esta (entre un 20 y un 40 % de su vida), permanecen atracados en puerto realizando tareas de carga y descarga. Consecuentemente, una partida importante en los costes de explotación del buque, corresponderá a los costes incurridos en las operaciones durante la estancia en puerto, pudiendo llegar a representar estos, hasta un 20% del total de costes incurridos.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

Durante la estancia del buque atracado, una parte más que importante de los gastos corresponderán a los denominados "Costes de Carga y Descarga (C/D)". Ese tiempo mínimo deseado para las tareas de carga y descarga va a estar marcado por los movimientos que experimenten los buques atracados. Si se experimentan movimientos de buques demasiado grandes, las operaciones de manejo de la carga disminuirán su velocidad o incluso cesarán, pudiéndose llegar a producir daños en los buques y las instalaciones de los puertos.

Todo ello no hace más que evidenciar la elevada importancia económica que adquiere la fase portuaria durante la vida operativa del buque, por lo que el poder disponer de sistemas de amarre “modernos, seguros y ágiles”, va a ayudar a reducir estos costes.

Evidentemente los tiempos de estancia en puerto para carga y descarga van a variar con los diferentes tipos de buques, por lo que el estudio de los movimientos de los buques atracados, se debe hacer para cada tipo de buque, ya que las exigencias de los mismos para las tareas de “C/D” van a ser diferentes de unos a otros. [116]

Prácticamente no existe ninguna publicación actual que haya analizado los tiempos que permanecen los buques en puerto. Una de las fuentes más fiables, aunque ya algo desfasada, es la representada en el siguiente cuadro en el que se pueden apreciar los valores típicos de viajes de distintos tipos de buques: [15] [124]

Tabla 1: Tiempos de estancia en puerto

<i>Tipo de buque</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Dur. Viaje (Millas)</i>	<i>Escalas por viaje</i>	<i>% estancia en puerto</i>
Bulkcarrier grande	110.000 GT	10.000	2	23
Bulkcarrier pequeño	25.000 GT	11.000	4	31
Ro – Ro	90 Remolques	800	2	33
Portacontenedores	2.300 TEU	12.000	6	29
Costero	3.000 GT	1.400	2	45

FUENTE: Buxton, Daggitt y King – CARGO ACCESS EQUIPMENT FOR A MERCHANT SHIP

El tiempo de estancia en puerto de los buques anteriores, dependerá de diversos factores, de los que podemos destacar:

- Medios de carga y descarga propios del buque.
- Medios de carga y descarga de los puertos visitados.
- Tipo de mercancía transportada.
- Número de viajes realizados.
- Número de escalas por viaje.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- Existencia de líneas regulares.

A primera vista, y de forma intuitiva, se aprecia que tanto la propia carga, como los medios relacionados con el manejo de la carga, van a ser factores decisivos en el tiempo de plancha, en el caso de los buques “tramp”. Y aunque no se observe de forma tan intuitiva, también influirá el número de escalas, ya que los barcos que realicen viajes más largos, realizarán menos escalas, y por lo tanto estarán menos en puerto.

En el caso de las líneas regulares, con sus horarios preestablecidos, el tiempo de puerto ya estará marcado por otros intereses, aunque también suele ser amplio.

Pero, ¿cuál es el tiempo de estancia en puerto de un buque convencional? Ante la ausencia de estudios y datos publicados, se ha procedido a analizar los años navegados por varios tipos de buques. Para empezar este análisis se va a comenzar por los buques frigoríficos. El buque elegido para estudio ha sido el M.V. “Star First”, de la compañía “Grace Ocean Private Limited”, y con puerto de registro de Singapore. De los datos actuales proporcionados por la compañía naviera, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Porcentaje anual de días totales en puerto: 28 %
- Número de escalas por año: 81
- Número de puertos visitados por año: 6
- Número de escalas por puerto: 13

En el caso del 2010 y 2011 los seis puertos visitados por este buque fueron:

- Antwerp, Belgica
- Abidjan, Costa de Ivory
- Douala, Camerún
- Tema, Ghana
- Dakar, Senegal
- Dover, Reino Unido

De estos puertos, el más visitado fue Abidjan y el menos visitado fue Antwerp.

A continuación se realizará el estudio del tiempo en puerto de un buque gasero. En este caso se analizan los datos de un año completo de un buque que está en activo actualmente: el buque gasero **Bilbao Knutsen**.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

BUQUE	
NOMBRE	Bilbao Knutsen
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	2004 (28/1/2004)
TIPO DE TANQUES	4 TANQUES MEMBRANAS INVAR GTT
ARMADOR	KNUTSEN
OPERADOR	NAVIERA DAFNE
BANDERA	ESPAÑOLA (Sta.Cruz de Tenerife(REC))
SOCIEDAD CLASIFICADORA	LRS
INFORMACIÓN TÉCNICA	
ESLORA TOTAL (LOA) (M)	284,4
MANGA (B) (M)	42,5
PUNTAL (D) (M)	25,4
CALADO EN CARGA (T) (M)	11,4
TONELADAS DE REGISTRO NETO (NRT)	27.251
TONELADAS DE REGISTRO BRUTO (GRT)	90.835

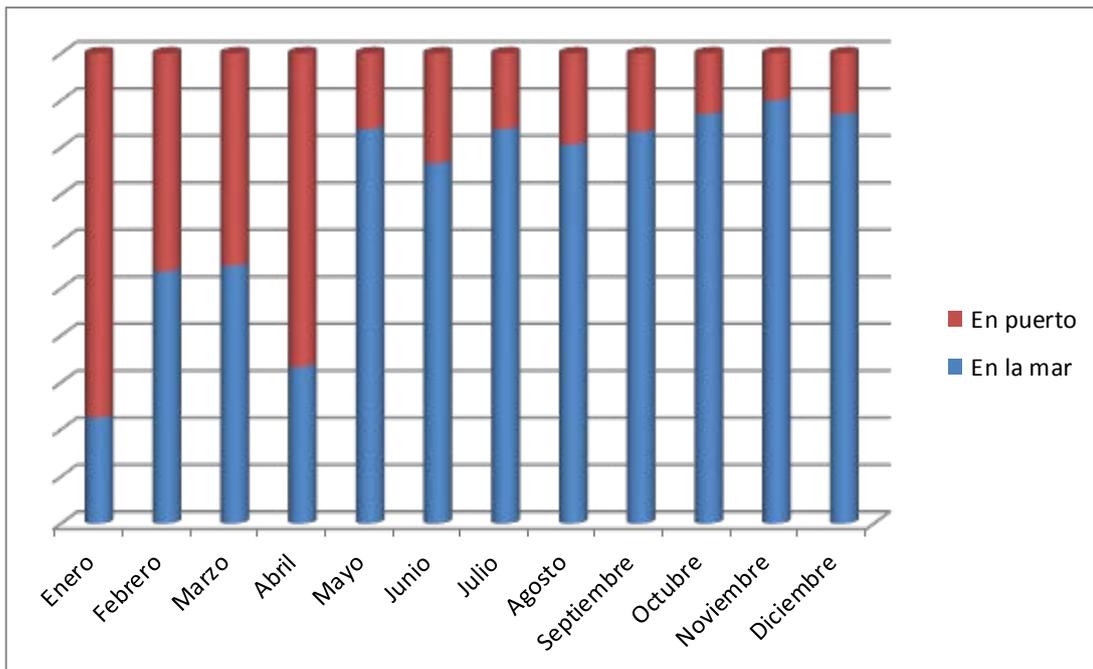
“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

BUQUE	
DESPLAZAMIENTO EN CARGA (MT)	97.800,0
CAP. CARGA 100% (M3)	138.188,00
VELOCIDAD (NUDOS)	19,5

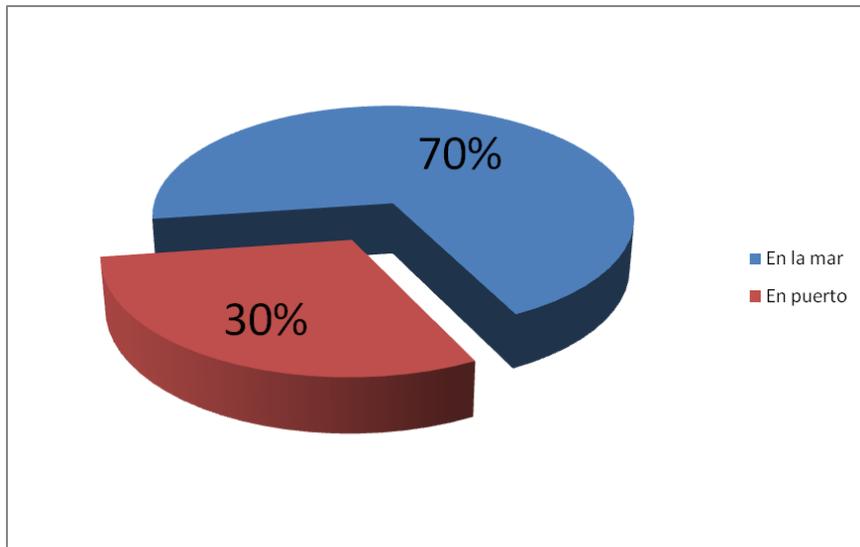
A continuación, procedemos a efectuar la suma de todas las jornadas en puerto y en la mar

- Enero: 7 en la mar, 24 en puerto
- Febrero: 15 en la mar, 13 en puerto
- Marzo: 17 en la mar, 14 en puerto
- Abril: 10 en la mar, 20 en puerto
- Mayo: 26 en la mar , 5 en puerto
- Junio: 23 en la mar, 7 en puerto
- Julio: 26 en la mar, 5 en puerto
- Agosto: 25 en la mar, 6 en puerto
- Septiembre: 25 en la mar , 5 en puerto
- Octubre: 27 en la mar, 4 en puerto
- Noviembre: 27 en la mar, 3 en puerto
- Diciembre: 27 en la mar, 4 en puerto

Procedemos a continuación a ofrecer una visión gráfica de la proporción de tiempo que permanece el buque en puerto a lo largo de cada mes:



Y finalmente realizamos la representación gráfica del porcentaje de tiempo que pasa el buque en puerto, amarrado, y el que pasa en la mar:



3 OBJETIVOS

- Demostrar la importancia de la fase portuaria en el contexto de la vida operativa del buque.
- Investigar la evolución en el tiempo de los sistemas de amarre del buque.
- Determinar las exigencias a cumplir por los sistemas de amarre en el presente.
- Definir los procesos de configuración de los sistemas de amarre estableciendo procedimientos de determinación y diseño de los mismos, obteniendo conclusiones sobre los procedimientos citados.
- Definir el diseño de los componentes principales del buque.
- Establecer elementos de amarre a incorporar en los muelles.
- Análisis de aquellos factores, legales o reglamentarios, que afecten en la evolución de los equipos.
- Elaboración de medidas de ayuda que puedan auxiliar a los marinos (futuros usuarios de los equipos) durante las maniobras de atraque y desatraque (consejos sobre el número de chigres que deben utilizarse dependiendo del tipo de maniobra y de las condiciones meteorológicas, y consejos sobre la forma en qué deben usarse los equipos). Las Sociedades de Clasificación (SSCC) no indican qué chigres deben usarse durante la aproximación del buque al muelle, previa al atraque y amarre definitivo.
- Estudio de los ángulos formados por las estachas durante el atraque, teniendo en cuenta diferentes tipos de buques y/o muelles (tema tampoco abordado por las Sociedades de Clasificación), realizando un análisis adicional de cómo se va modificando la maniobra de amarre, según el barco se va aproximando al muelle (disminución de superficie vélica expuesta al viento).

- Elaborar propuestas de equipos de inmovilización del buque adicionales al uso de amarras.
- Definir propuestas en torno a la evolución futura de los sistemas de amarre, tales como:
 1. Exigencias operativas.
 2. Exigencias de maniobra.
 3. Mecanización/automatización
 4. Evolución de los procesos de cálculo.
 5. Evolución de los equipos.
 6. Propuestas de innovaciones que se puedan introducir en la maniobra de aproximación del buque al muelle, en el momento del atraque, para evitar el uso de la potencia propulsora del buque (aumento de la potencia de las maquinillas y cabrestantes...).
 7. Propuestas de armonización.

4 ESTADO DEL ARTE

La Enciclopedia del Mar define el término “amarra” como el nombre que con carácter general se da a bordo de los barcos a los cabos, cables y cadenas empleados para sujetar (amarrar) los buques, botes y lanchas, al muelle, a otro buque o al fondo.

La finalidad de las amarras es mantener al buque fijo en una posición, atracado a un muelle, amarradero, etc., o a otra embarcación. También pueden usarse para modificar dicha posición o como auxilio para maniobras de atraque o desatraque.

Se denomina jarcia o cabullería al conjunto de cabos y cables específicos de un buque, y se conoce como jarcia de amarre al conjunto de cables y cabos utilizados en el amarre del buque. En el ámbito marino las amarras son conocidas como “estachas”.

Las amarras reciben un nombre característico que depende de la forma en que trabajen con relación al buque. Si saliendo de proa trabajan hacia proa, o saliendo de popa trabajan hacia popa, se dice que trabajan por largo. A los que salen por proa se les denomina “largos de proa (head lines)”, y a los que salen por popa se les conoce como “largos de popa (stern lines)”. A las estachas que salen de proa a popa y de popa a proa se les denomina “springs”. Las amarras que salen en dirección transversal decimos que trabajan de “través (breast line)”.

Generalmente el espacio del que se dispone para amarrar un barco es limitado, por lo que aquél debe quedar perfectamente sujeto por medio de las estachas para que no pueda desplazarse. [127]

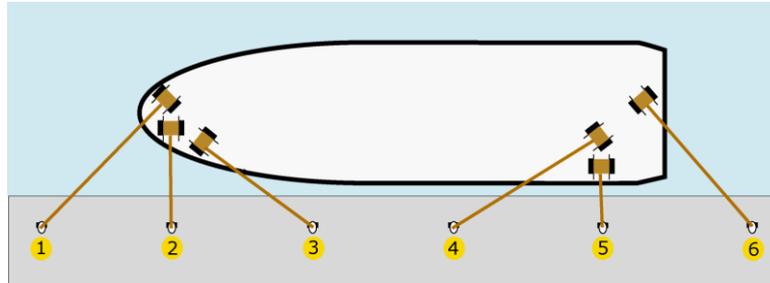


Ilustración 1

1. *Largo de proa.*
2. *Través de proa.*
3. *Esprín de proa.*
4. *Esprín de popa (o codera).*
5. *Través de popa.*
6. *Largo de popa.*

4.1 MANIOBRA DE AMARRE

Amarrar es asegurar los cabos, cables o cadenas de un buque, embarcación o flotador, que se encuentre en un puerto o embarcadero, muelle o boya, resistiendo a la acción del viento, de las corrientes y mareas, es decir, se trata de trincar el buque para que permanezca en su posición mientras se encuentre sometido a la acción de los vientos, corrientes y mareas, estando atracado en puerto. [39]

Como ya conocemos, los barcos han sido diseñados y construidos para navegar, pero durante su vida operativa permanecen mucho tiempo fondeados, amarrados y atracados a los muelles. Para atracar un buque no es tarea suficiente el que las máquinas estén paradas, sino que hay que sujetar al barco y para ello se precisa de una serie de equipos e instalaciones que constituyen el sistema de amarre. Es necesario tener en cuenta una serie de maniobras y operaciones que de forma generalizada se denominan “amarre”. [110]

El amarre se puede efectuar de proa, de popa o de costado. A diferencia de en la maniobra de fondeo, no existen elementos estructurales. Lo que sí hay son elementos auxiliares afirmados a la estructura, pero que no forman parte de la misma. El sistema de amarre está compuesto de:

- Amarras que conectan el buque con el punto de atraque.
- Firmes de las amarras en el buque.
- Máquinas para largar, tensar y cobrar (recoger) las amarras.
- Lugar de estiba de las amarras en el buque.

El amarre se realiza a través de los elementos que se denominan en el servicio de carga y descarga, jarcia de labor. En este caso se conocen como estachas o amarras.

4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AMARRE ATENDIENDO AL MATERIAL UTILIZADO

4.2.1 AMARRE CON ESTACHAS

Como ya conocemos, existen fibras naturales y fibras sintéticas, pero estas últimas han desbancado totalmente a las anteriores. Las características de unas y otras serán descritas en este capítulo. [5] [6]

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 (pilot); o del método y procedimiento de amarre que siga una determinada terminal: de tipo convencional, sea islands, monoboja, jetties, etc. [7] [8]

Porcentajes de utilización por método de amarre:

Tabla 2: Tipo de amarre

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%

Como ya se ha explicado con anterioridad, 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 “esprín” (La palabra esprín es una asimilación de la palabra ingles spring, muelle).

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

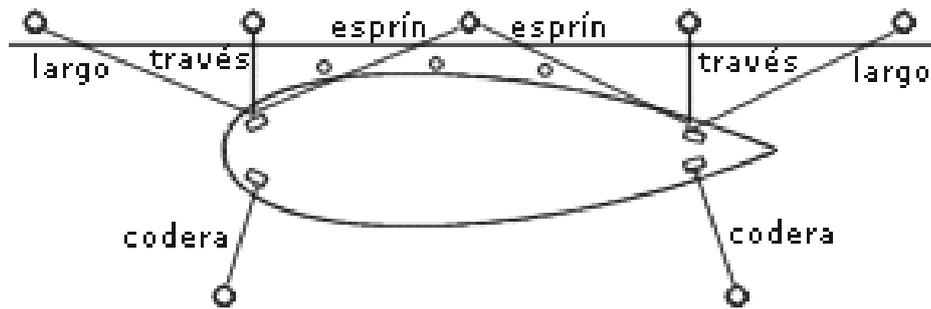


Ilustración 2: Disposición de amarre tipo

He aquí una disposición de amarre tipo para buques de gran tamaño, que puede valer, con las adaptaciones necesarias, para otros tipos 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: [19]

Tabla 3: Número de estachas y su distribución con respecto al atraque

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

4.2.2 AMARRE CON CABLE

Para buques de gran desplazamiento o de máxima rigidez en el atraque, son más adecuados los cables de acero, ya que presentan menor elasticidad, disponen de mayor resistencia a la rotura, y poseen menor diámetro que permite su arrollamiento en carreteles. No obstante, los primeros cabos que deben darse durante la maniobra de atraque son los de fibra sintética, al ser más elásticos y poseer mejor retención del movimiento de traslación del buque (vaivén).

4.2.3 AMARRE MIXTO

Amarre con cabo y cable con la finalidad de obtener la elasticidad del cabo y la rigidez del cable.

4.2.4 SISTEMAS AVANZADOS DE AMARRE. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS ATENDIENDO AL PRINCIPIO FÍSICO UTILIZADO

Existen empresas especializadas en suministros de amarre, tecnología de grúas y otros equipos industriales. Forman “Centros de Excelencia” que se encuentran en Canadá, Francia, Alemania, Italia y Suecia y cuentan con unidades de fabricación local en Australia, China, Alemania, Suecia y los EE.UU. Una de ellas es la empresa “CAVOTEC. [18]

Para la distribución de sus productos y apoyo a los clientes tienen 22 puntos de venta que, junto con una amplia red de distribuidores, atienden a más de 30 países en cinco continentes.

Cada empresa de fabricación, independientemente de dónde se encuentre, tiene como objetivos el ser líder de mercado en su campo y proporcionar innovadores y fiables productos a los clientes del grupo. A pesar de que fabrican diferentes productos en diferentes países, son a nivel mundial coordinados por un grupo común en el desarrollo de sus productos y actividades de marketing.

Cada venta de la compañía, y cada distribuidor, tiene una política encaminada a mejorar el servicio en su mercado local.

Esta compañía especializada en el diseño y producción de amarre automatizado ha revolucionado los sistemas para buques comerciales y militares. Los sistemas de amarre han sido adoptados por importantes compañías portuarias, debido a su elevado tráfico, entre las que están incluidas algunas que operan en el Puerto de Dover (Reino Unido). En 1999 se instaló por primera vez un sistema llamado “IronSailor” en un buque de pasaje. Después de su puesta en marcha este sistema se ha utilizado de forma segura en 10.000 operaciones de amarre automático sin amarras y sin la intervención de los equipos de amarre tradicionales.

Durante miles de años, la práctica tradicional del amarre con estachas se ha mantenido sin cambios. Hoy en día el transporte internacional es muy competitivo,

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

con decenas de miles de barcos sirviendo masivamente al comercio internacional de bienes de consumo y productos a granel, mientras que los métodos de amarre se han mantenido en gran medida sin cambios desde que los primeros navegantes se aventuraron a salir a la mar.

Nos enfrentamos al desafío de un cambio en el antiguo, tradicional y aceptado sistema de amarre con estachas. Debido a la dinámica y a las cargas inherentes que afectan a los cuerpos grandes, como los barcos, que se mueven en un ámbito fluido, cualquier cambio que se quiera aplicar a esta práctica requerirá una innovación significativa para que los nuevos sistemas sean más rentables y más seguros que sus predecesores.

Automatizar el proceso de amarre representa un nuevo campo en la tecnología marítima. Se trata de un área muy complejo y multidisciplinario, relacionado con el diseño de nuevos productos, por lo que se debe realizar un análisis en profundidad de las condiciones del medio ambiente y las cargas, las formas del casco, los requisitos estructurales, las sociedades de clasificación, y las necesidades de los clientes. Los productos están ganando gran reconocimiento e interés en todo el mundo. [34]

Las primeras instalaciones demuestran la seguridad y la fiabilidad de la gama de los productos, y asimismo dotan a buques y empresas portuarias con importantes eficiencias operativas y ventajas de costes sobre sus competidores.



Ilustración 3 (Fuente: www.cavotec.es)

4.2.4.1 AMARRE POR VACÍO. IRON SAILOR SERIES

Gracias al diseño de sistemas innovadores, el amarre de un buque se puede hacer en una fracción mínima de tiempo, por lo que los costes, en comparación con el amarre con estachas, se verán reducidos. [121]

El “IronSailor” es el nombre dado a la gama de sistemas de amarre para buques desarrollados por Mooring Systems Limited (MSL) en 1998. Este fue el año en el que el primer producto de MSL, la serie “IronSailor I” se instaló en el “Aretere”, un ferry de 150 metros de eslora construido por HJ Barreras SA en Vigo. Este sistema de amarre automático consta de 4 unidades de potencia de 20 toneladas cada una. Las unidades se colocan por pares, con dos unidades en la proa del barco y dos unidades en la popa. Se activan desde la cabina de mando del puente y se extienden hasta conectar con una placa de acero en el muelle. Desde sus comienzos “IronSailor” ha realizado más de 10.000 instalaciones de amarres automáticos, lo que demuestra el buen funcionamiento del sistema y de su tecnología. [120]

La gama completa se compone de tres modelos diferentes para poder satisfacer mejor las demandas específicas de los clientes. La gama actual para buques se muestra a continuación:

IRONSAILOR SERIES E:

La serie E es una unidad de montaje externo que está diseñada para ser adaptada a buques ya existentes. Cuando no se usa la unidad está al nivel de la traca de cinta.

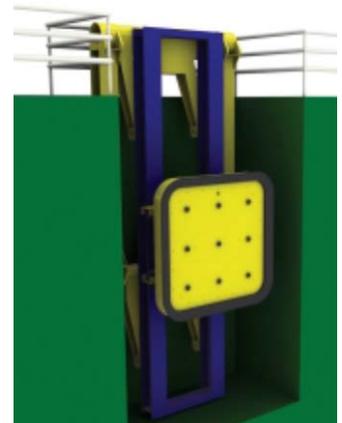
Cuando se activan, las unidades descienden y se unen con una placa montada en el muelle.



IRONSAILOR SERIE I:

La serie I fue instalada en el “Aretere”, un ferry de 150 metros de eslora, en 1998. Las cuatro unidades, cada una con una capacidad de carga de 20 toneladas, son colocadas por pares, dos a proa y dos a popa. Son activadas desde el puente de navegación. Este buque fue construido en los Astilleros Barreras, en Vigo.

Las unidades se extienden hacia afuera por dos puertas en el casco y se unen a dos placas sobre el muelle. Desde la instalación del sistema se han hecho más de 10.000 amarres automáticos.



IRONSAILOR SERIE T:

El sistema de la serie T está diseñado para cumplir las necesidades del buque por las distintas vías de navegación. La unidad es similar a la QuaySailor Serie I en relación con la geometría.

4.2.4.1.1 SUPERVISIÓN Y CONTROL DE INTERFACES

Uno de los elementos más importantes del sistema MSL es el interfaz de control. Los sistemas utilizan el estado de los componentes de control para proporcionar al usuario un entorno de trabajo fiable para los buques y los operarios.

Este sistema, a través del uso seguro de los enlaces de radio codificados entre buque y tierra y de un software compatible de Internet, es capaz de proporcionar a todos los usuarios el estado del sistema de información. Esto significa que, por ejemplo, las autoridades portuarias pueden supervisar el rendimiento electrónico del sistema de amarre. De hecho, un solo operario podría llegar a controlar el amarre de un puerto completo.

Cuando los sistemas de control son propios del buque, el capitán del buque puede controlar el amarre de su barco con sólo dos botones.



Ilustración 4 (Fuente: www.cavotec.es)

4.2.4.1.2 DESARROLLO DEL SISTEMA

El sistema actual de amarre representa un salto importante en la técnica desde el primer sistema desarrollado en el año 1999, ya que no requiere de instalaciones específicas en el barco y puede adherirse directamente al casco de la mayoría de los buques comerciales y militares. El modelo, de cara al muelle, tiene la gran ventaja del almacenamiento compacto (retráctil), cuando no esté en uso. Esto permite al sistema permanecer detrás de la línea de defensa para resguardarse del impacto durante el atraque. Cuando se activa, la estructura de soporte de la ventosa se extiende hacia el exterior y la conexión de amarre por vacío se establece en unos pocos segundos. Este sistema está diseñado para atender a la mayoría de los buques y cuenta con varias características importantes que incluyen:

- Actuación en tres dimensiones y disposición de amortiguación.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- Posicionamiento de Buques.
- Carga y control de las mediciones.
- Control mediante monitorización en tiempo real a través de redes informáticas y registro de los datos obtenidos.

La primera serie QuaySailor 40 se instaló en Picton (Nueva Zelanda) en 2002 y desde entonces se han realizado más de 40.000 operaciones de amarres seguros. La gama actual de las unidades en tierra se muestra a continuación:

QUAYSAILOR 20:

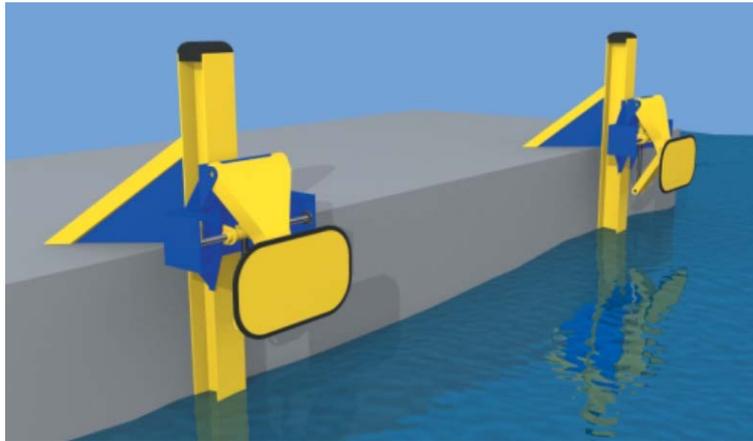


Ilustración 5 (Fuente: www.cavotec.es)

El “QuaySailor 20” está diseñado para atender las necesidades de barcos ligeros de alta velocidad y doble casco. Se sitúan en puertos con barcos de rutas cortas, canales, vías fluviales y entre islas. El sistema está diseñado para un solo operador de control, que acciona y amarra el buque en menos de seis segundos. La unidad de carga está diseñada para soportar una carga de 20 Toneladas y un alcance de 600 mm.

QUAYSAILOR 40:



Ilustración 6 (Fuente: www.cavotec.es)

El “QuaySailor 40” es ideal para barcos de 70 a 250 metros de eslora. El número de unidades requeridas, por seguridad para amarrar el barco, va a depender de la superficie del casco expuesta al viento y de los patrones ambientales del clima de la zona donde ha de instalarse. En la mayoría de los casos se requieren entre 2 y 6 unidades por muelle. La unidad tiene un diseño para soportar una carga de 40 T y un alcance de 1100 mm.

QUAYSAILOR 80:



Ilustración 7 (Fuente: www.cavotec.es)

El QuaySailor 80 está diseñado para satisfacer las necesidades de los grandes buques que están expuestos a condiciones de mar gruesa y a gran resistencia al viento. La unidad oscila arriba y abajo de cara al muelle y puede hacer frente a variaciones de marea de hasta 10 metros, condiciones que causan movimientos en la vertical de hasta un metro por segundo. Por lo general, se requieren tres o cuatro unidades para grandes buques Ro/Ro. La unidad tiene una capacidad de carga de 80 T y alcance de 2500 mm.

4.2.4.1.3 VENTAJAS DEL SISTEMA DE AMARRE

Como ya se ha comentado, durante miles de años la industria se ha basado en el uso de estachas para asegurar el amarre de los buques.

Ha sido un sistema fiable que ha funcionado bien, pero ahora está de alguna manera desfasado con el nuevo enfoque de la industria marítima, que supone mejoras continuas en la productividad y la eficiencia. [121]

SEGURIDAD:

- Eliminado el riesgo de lesión de la tripulación del barco con las estachas de amarre.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- Control permanente de la tensión soportada, y sofisticadas funciones de alarma, transmitidas en tiempo real a las operaciones del personal.
- Diseñado a pruebas de fallos, con características que aseguran un amarre seguro, incluso durante cortes de energía o pérdida de señales de control.

INFRAESTRUCUTURAS:

- Mayor aprovechamiento en el uso del muelle debido a que el buque queda más próximo al muelle.
- Mayor longitud aprovechable en los muelles debido a que la cabeza de los barcos podría sobresalir de los mismos.
- Los puntos anteriores pueden desembocar en un ahorro en la longitud de muelle necesaria.

ECONOMÍA:

- Fijación rápida (normalmente sobre 12 segundos) y la liberación es instantánea.
- No presenta demoras a la espera de que los equipos de amarre estén disponibles.
- Sólo se requiere de un operario, con base en tierra o a bordo, para activar y controlar remotamente el amarre del sistema.
- No existen interrupciones en las tareas o descansos de las tripulaciones de los buques.
- Reducción del número de tripulación en los barcos.
- Estancia más corta en el puerto, lo que significa una reducción de la velocidad en la navegación y una mejor utilización de los muelles.
- Reducción del tiempo necesario de uso de remolcadores y prácticos.

MEDIO AMBIENTE:

- Amarre rápido, lo que significa un menor funcionamiento de la propulsión del buque, de los remolcadores, etc. lo que significa menores emisiones en el puerto.
- Los sistemas de amarre tienen una baja demanda de energía eléctrica y prácticamente no tienen consumo.
- Exige una menor velocidad en la navegación, lo que se traduce en un menor consumo de combustible.
- Eliminación del desgaste de la estacha, la pintura y las defensas, ampliando el ciclo de vida de estos productos.



Ilustración 8 (Fuente: www.cavotec.es)

4.2.4.1.4 SOLUCIONES PARA TERMINALES DE CONTENEDORES

Las terminales de contenedores se han convertido en un eslabón crucial en la actual economía global. A menudo son el centro logístico principal para una amplia región geográfica, que debe garantizar el intercambio fluido de bienes de consumo, materias primas y productos industriales. Las ganancias en eficiencia y productividad debidas a la mejora del interface “buque-tierra” son potencialmente significativas en la cadena logística y pueden tener un profundo impacto en el éxito comercial de los operadores portuarios. Los buques portacontenedores son cada vez más grandes y en muchos puertos el tiempo de atraque de estos barcos puede exceder los 30 minutos. Con los nuevos sistemas, estos buques pueden estar amarrados en cuestión de segundos, lo que permitirá comenzar las operaciones de carga y descarga rápidamente.



Ilustración 9 (Fuente: www.cavotec.es)



Ilustración 10 (Fuente: www.cavotec.es)

4.2.4.1.5 SOLUCIONES PARA TERMINALES Ro-Ro y FERRIES

Los transportes Ro-Ro de carga por vía marítima desempeñan cada vez un papel más importante en la reducción de la congestión vial. Buenos ejemplos son los buques especializados puros para coches (PCTC) que forman parte integral de la cadena logística de fabricación mundial de automóviles.

Para los pasajeros, los transbordadores son en su mayoría empleados en las rutas marítimas de corta distancia, donde la exigencia del cumplimiento de los horarios previstos es de vital importancia. Con el aumento del tamaño de los buques, el reto es amarrar con seguridad en condiciones adversas y en especial donde el espacio del muelle sea restringido.

El sistema automatizado de amarre reduce la cantidad de tiempo necesario para buques en puerto y permite a las terminales operar en condiciones meteorológicas adversas. La modificación de las terminales existentes, para dotarlas con sistemas automatizados de amarre, permitiría el uso de tamaños de buques más allá del diseño original, sin necesidad de invertir en extensiones costosas de muelle u otras que puedan alterar los canales restringidos de los puertos.



Ilustración 11: *MoorMaster: Unidades de amarre automatizadas en el Puerto de Saelvig, Dinamarca* (Fuente: www.cavotec.es)

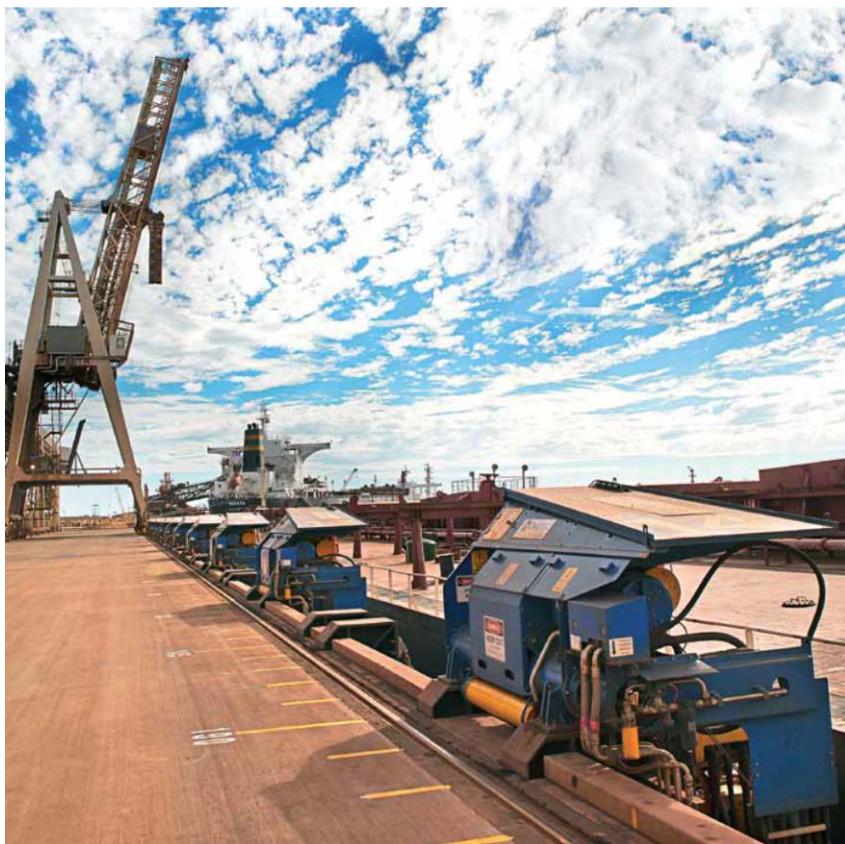


Ilustración 12: *MoorMaster: Unidades de amarre automatizadas en el Puerto de Hedland, Australia (muelle de Utah).* (Fuente: www.cavotec.es)



Ilustración 13: *MoorMaster: Unidades de amarre automatizadas en el Puerto de Saelvig, Dinamarca.* (Fuente: www.cavotec.es)



Ilustración 14: Cavotec MoorMaster: Unidades controladas por control remoto en el Puerto de Hedland, Australia. (Fuente: www.cavotec.es)

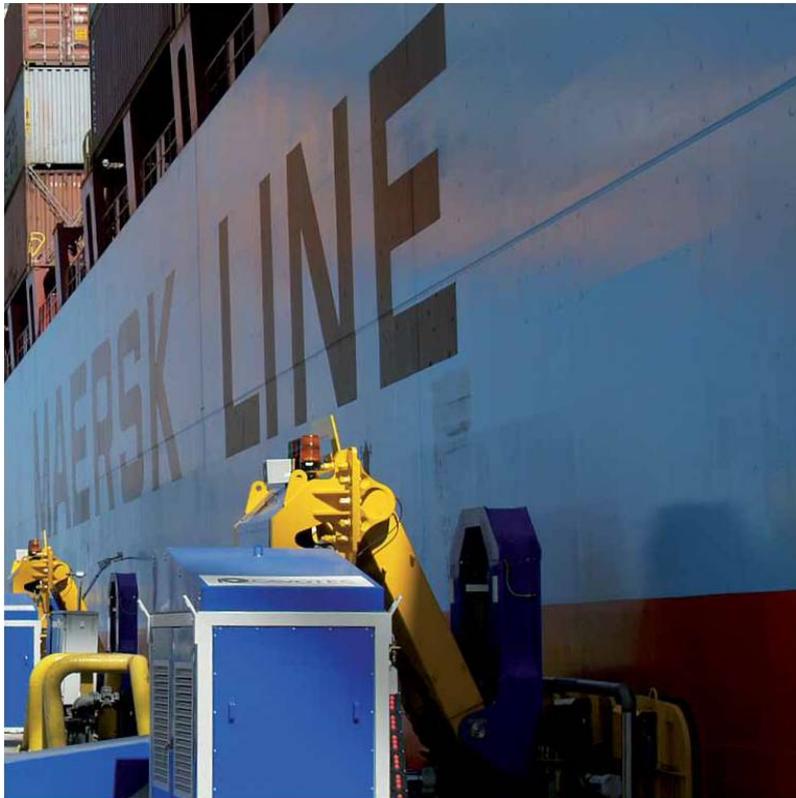


Ilustración 15: El sistema de protección de cable de Panzerbelt de Cavotec: Un carretel de cable motorizado en una grúa de STS y unidades de MoorMaster, aseguran el manejo adecuado y eficiente de contenedores en el puerto de Salalah, Oman. (Fuente: www.cavotec.es)

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”



Ilustración 16: *Unidades MoorMaster preparadas para amarre del usuario en el Puerto de Hedland's Utah. (Fuente: www.cavotec.es)*



Ilustración 17: *Todo seguro: Un tercer buque atraca en el puerto de Utah. (Fuente: www.cavotec.es)*

4.2.4.2 SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE AMARRE: TTS

A finales de 2009 para diseñar e instalar dos sistemas de amarre para el puerto de Copenhague, se dio el pistoletazo de salida para suministrar un sistema de amarre semiautomático. La instalación de los “linkspans” comenzó a finales de 2010 con el sistema de amarre entregado al mismo tiempo. [108]

El puerto estuvo en fase de expansión a gran escala, con la construcción de nuevas instalaciones. La contratista sueca, Skanska, fue la contratista llave en mano para el proyecto portuario, que incluía la construcción de tres nuevos terminales, dos de los cuales se utilizarían para ferrys y contenedores, y el tercero sería un terminal combinado para el tráfico ferroviario

El sistema de amarre TTS de tipo semiautomático se instaló en el puerto nuevo. El dispositivo está diseñado para amortiguar las fuerzas transversales de los equipos dedicados, y cada uno estará equipado con un bolardo compatible instalado en el costado del buque.

El sistema comprenderá la plataforma de auto-amarre, que incluye un cilindro hidráulico y un generador de energía hidráulica alojada en un armario en el muelle. El personal permite operar el equipo a través de pulsadores y dirigir manualmente la amarra de tensado automático alrededor del bolardo equipado en la embarcación. Las características de seguridad incluyen un sistema de alarma diseñado para alertar al personal de cambios significativos en la tensión, o de fallo del sistema.

4.2.4.2.1 BOLARDO SEMIAUTOMÁTICO DE AMARRE

Con el fin de reducir el número de personas que se necesita en tierra durante la operación de amarre, el bolardo semiautomático ha sido diseñado para funcionar con un movimiento vertical de baliza telescópica que puede inclinarse contra el casco. [121]

El sistema semiautomático de bolardo hidráulico consta de brazo telescópico vertical que incluye un bolardo abatible y un cilindro basculante, sistema de control eléctrico, sistema hidráulico y el panel de control ubicado sobre un bastidor de acero.

La baliza es operada por control de radio desde la cubierta del cabrestante para el amarre.



Ilustración 18 (Fuente: www.ttsgroup.com)

4.2.4.2.2 CHIGRE DE AMARRE

Este cabrestante de accionamiento eléctrico se utiliza principalmente en los buques de carga seca como portacontenedores, vehículos y carga rodada Ro-Pax, transbordadores y buques de crucero.

El chigre de amarre eléctrico se suministra con CPU controlada para la automatización de amarre para evitar que las estachas se rompan durante la estancia puerto.

4.2.4.3 SISTEMA DE AMARRE HIDRÁULICO: SHORE-TENSION

KRVE ha desarrollado y probado un sistema adecuado y sencillo junto con la Autoridad Portuaria de Rotterdam. Ofrece una tensión permanente sin necesidad de energía externa constante. El sistema se denomina Shore-Tension. Este

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

sistema reduce el movimiento del buque provocado por el viento, la corriente o los buques que pasan cercanos al buque atracado. [103]



Ilustración 19 (Fuente: www.shoretension.com)

Shore-Tension trabaja como un sistema de amarre hidráulico automático. Unas válvulas de control aseguran que la tensión de la línea de amarre no supere la carga de seguridad de los cabos de amarre y norays del muelle. Gracias a esto, todas las líneas de amarre tendrán la misma tensión, lo cual mejorará el amarre. [120]



“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

Por medio de este sistema de amarre evitaremos situaciones como la de la siguiente imagen, en la cual, debido al mal tiempo, son necesarias estachas extras y el uso de remolcadores:



Ilustración 20 (Fuente: elaboración propia)



Ilustración 21 (Fuente: elaboración propia)

Gracias al uso del nuevo sistema, evitaremos esas líneas de amarre adicionales. El sistema no elimina las estachas de amarre tradicional, pero las complementa y reduce el número de las mismas necesario.

El sistema consta de un cilindro que tiene cuatro cámaras:

1. Tanque de almacenamiento de aceite.
2. Cámara de gas /aceite
3. Tensión en la cámara del cilindro
4. Presión en la cámara del cilindro

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

La cámara de gas/aceite se llena con aceite. El gas en la cámara asegura que el aceite será descargado en la cámara de tensión del cilindro, a través de la válvula de no retorno. El nivel de la presión de gas es determinante para mantener la fuerza y tensión del amarre.



Ilustración 22 (Fuente: www.shoretension.com)

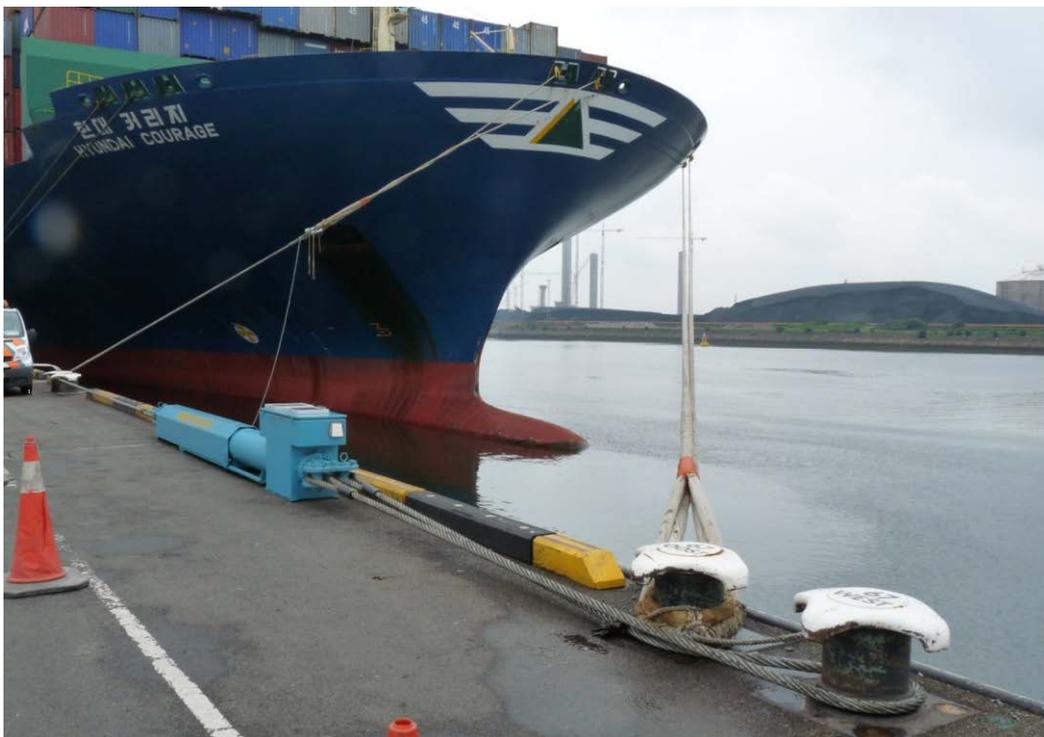


Ilustración 23 (Fuente: www.shoretension.com)

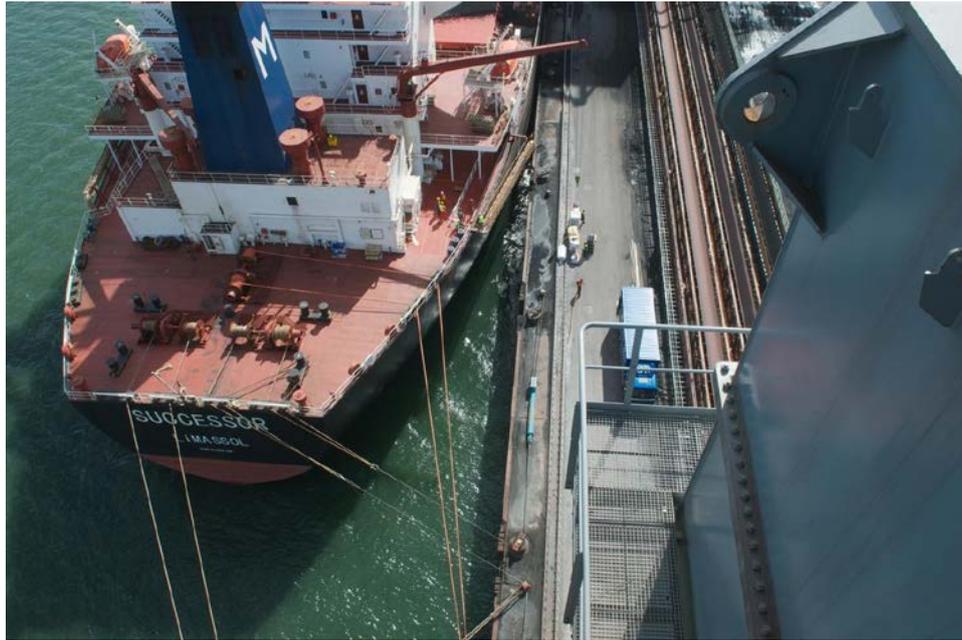


Ilustración 24 (Fuente: www.shoretension.com)



Ilustración 25 (Fuente: www.shoretension.com)

Ventajas del sistema de ShoreTension: [121]

- Impide que las líneas rompan (menos lesiones personales).
- Garantiza la seguridad del buque.
- Supone menos amarras: por lo que los accidentes deberían reducirse.
- Reduce el problema del mar de fondo.
- Compensa el problema de succión creado por los buques que pasan cerca.
- Menores oimas de seguro.
- Mejora la estabilidad del buque mientras es amarrado.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- Aumenta la velocidad de carga y descarga.
- Es versátil y puede ser instalado sobre casi cada muelle o espigón.
- Puede suministrar una tensión (alta) constante.
- Tiene sensores que registran las tensiones en las estachas.
- Presenta datos que serán accesibles para el capitán, armador, el puerto y Operadores de las terminales.
- Los datos serán registrados para la evaluación y posterior análisis.
- Está registrado por LRS.

4.2.4.4 AMARRE AUTOMÁTICO BASADO EN TRINCAJE

Consiste en un vagón que incluye un ojo y un cilindro hidráulicos, un sistema de control electrónico, un sistema hidráulico y un panel de control. Puede ser diseñado con una fuerza de amarre variable dependiendo de los requerimientos del cliente.

El sistema necesita un pivote y un hueco en el casco del buque. Un panel de operaciones con función de alarma es fácilmente instalable en el puente del buque.

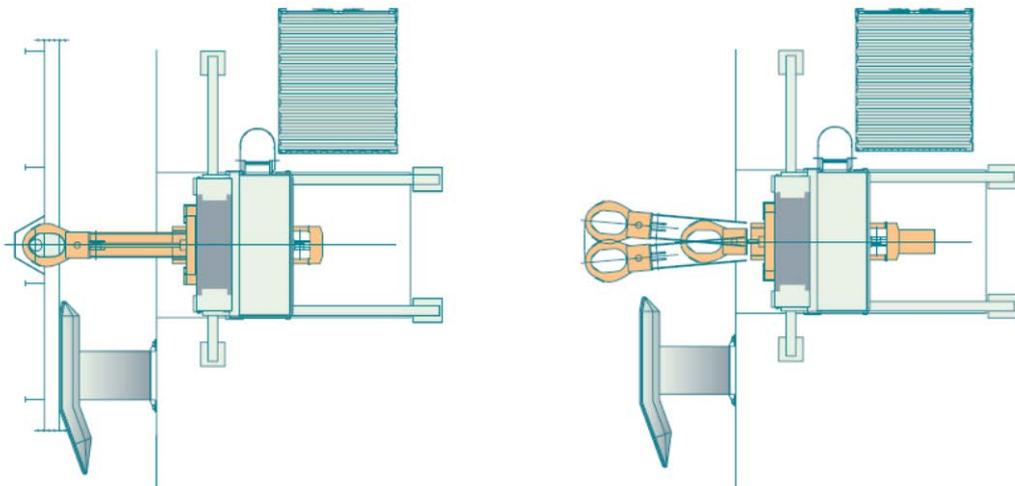


Ilustración 26 (Fuente: www.ttsgroup.com)

4.3 INSTALACIONES PORTUARIAS

En la bibliografía portuaria en general, y sobre todo en nuestro país, no se ha tratado el tema de las estachas en profundidad, dándose mayor importancia a la actuación de las defensas en el momento del impacto del buque.

Por lo tanto una tarea importante reside en explicar las funciones de las líneas de amarre, los métodos para mejorar su efectividad, las características, ventajas e inconvenientes de los diferentes materiales que componen las estachas y los criterios seguidos en el cálculo de su resistencia.

Para completar el tema de las estachas y defensas se van a exponer consideraciones referentes a sus funciones de absorción y disipación de energía, dejando de lado el cálculo de las defensas de cara al primer impacto del buque. Este aspecto ha sido tradicionalmente el principal objeto de estudio de nuestros Ingenieros de Caminos, en lo que se refiere a los problemas de atraque, dejando de lado el estudio del comportamiento del buque una vez atracado y sometido a las condiciones meteorológicas predominantes en la zona. [133]

Se debe remarcar la importancia que tiene el poder medir movimientos y fuerzas que actúan sobre las estachas, no sólo con el objetivo de usar los modelos a escala, sino para que los Capitanes o Comandantes puedan conseguir un mayor control del buque sobre el muelle, en las operaciones de atraque y desatraque. Así mismo, se resalta el enorme interés que tiene la medida de ondas largas en los puertos, asociadas a situaciones conflictivas de los buques. Las ondas largas siguen siendo una asignatura pendiente de estudio en muchos puertos. Desgraciadamente, los métodos de medida de fuerzas y movimientos, que deberían proporcionar un avance en la resolución de los problemas de buques atracados, cuentan en muchos casos con poca colaboración de las autoridades a las que se ve sometido el buque, por miedo a que la posible utilización de estos sistemas o aparatos sea un indicativo de la existencia de problemas en el puerto o en determinadas dársenas (entre las más habituales se pueden destacar los problemas de ondas largas y las resonancias o resacas).

Por lo tanto se puede considerar acertado el hacer una revisión del estado del arte sobre el atraque de buques, exponiendo inicialmente aspectos de carácter general, para pasar posteriormente a analizar normas concretas sobre las defensas, materiales de las estachas, longitud, eficacia y distribución, así como inspección y mantenimiento del equipo de amarre y análisis de situaciones conflictivas. Para finalizar se pueden explicar los sistemas más novedosos existentes relacionados con el amarre.

Se va a realizar una exposición de los fenómenos que aparecen en la compleja interacción “oleaje-buque atracado-puerto”.

Gerardo Polo, Doctor Ingeniero Naval, ha expuesto en diversas publicaciones que los costes, y especialmente los debidos a operaciones de carga y descarga, son el verdadero caballo de batalla en la explotación económica de los buques de navegación regular.

Los costes de puerto (practicaje, amarradores, remolcadores, tasas de puerto y muelles, etc.) son claramente no proporcionales a la distancia navegada y constituyen un capítulo muy destacable en la estructura de costes de explotación del buque. Otros costes, relacionados con las operaciones de carga/descarga (estiba y desestiba, recepción y entrega, utilización de elementos o servicios portuarios, grúas, etc.), suelen ser proporcionales al tonelaje transportado.

Las nuevas tecnologías en el transporte marítimo (unificación de la carga en “pallets” y contenedores, utilización de buques especiales, etc.) han hecho cambiar el concepto de la estancia en puerto, al conectar el buque con otros medios de transporte, formando una cadena, lo que convierte a la rapidez y eficacia de las operaciones portuarias en objetivo prioritario

Aun así, una parte importante de la vida de los buques transcurre junto a un muelle, salvo en casos, como los portacontenedores o los petroleros, en los que una alta automatización y especialización reduce a valores mínimos el tiempo de estancia en puerto. Puede afirmarse, de acuerdo con estadísticas de Buxton, Daggit y King, que con independencia de su aprovechamiento para efectuar operaciones, el tiempo de puerto oscila entre un 23% de la vida del buque para grandes graneleros y un 53% para buques de línea regular. En esta tesis se han presentado análisis más actuales realizados al investigar, hoy en día, los tiempos de estancia en puerto de diferentes tipos de buques.

Las operaciones de puerto son muy diversas, incluyendo aprovisionamiento de víveres y pertrechos, suministros de agua dulce, combustibles y aceites, reparaciones, relevos de tripulación, tramitación de certificados y, con especial importancia, carga y descarga de mercancías. Estas son las que en definitiva hacen largas y costosas las estancias en puerto, con una especial incidencia económica en la explotación naviera, pese a que, aparentemente, tienen un carácter accesorio en el transporte marítimo.

Se unen aquí las dificultades técnicas, debidas a la rapidez con que deben efectuarse las operaciones de carga y descarga, al elevado coste de inmovilización del buque, y a los riesgos que provocan con frecuencia daños en los buques, la carga, los equipos o las instalaciones. Por otra parte, estas operaciones se llevan a cabo dentro de una compleja estructura administrativa, con intervención de diversos organismos encuadrados en varios ministerios diferentes.

Peter F. Drucker, una autoridad mundial en Administración de Empresas, afirma que *“a través de generaciones los ingenieros y arquitectos navales se han concentrado en el comportamiento del buque en la mar, en vez de estudiar su condición en puerto, lo que ha hecho que el trabajo en puerto, principal elemento del coste, sea más difícil de controlar”*. En efecto, se ha considerado al buque como un elemento de transporte aislado, sin tener en cuenta su integración en una cadena más amplia, hasta que la containerización se implantó. Ello ha llevado a la paradoja de tener un complejo sistema productivo, al que se le aplican métodos de diseño y producción muy avanzados en determinadas fases, mientras que en otras se utilizan medios tradicionales o arcaicos de manipulación.

De acuerdo con los estudios de Benford en 1959, sólo cuatro de los principales factores de coste parecen tener una influencia apreciable sobre la explotación naviera: el coste de la maquinaria, los salarios de la tripulación y, sobre todo, el coste del combustible y el rendimiento de las operaciones de carga/descarga. Este último apartado constituye con gran frecuencia la partida más elevada de los costes de explotación, llegando a alcanzar el 35% o incluso más del coste total.

En conclusión, es necesario prestar una mayor atención a todos los aspectos que rodean la estadía del buque en puerto, desde la disposición general del buque, en lo que se refiere a equipos de carga y descarga y los de amarre, a los equipos y métodos propios de cada puerto pasando por el comportamiento del buque atracado bajo la acción del clima marítimo y demás agentes externos. Este trabajo pretende ser una aportación positiva y práctica en este sentido.

4.3.1 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE UN PUERTO

El objetivo de toda obra marítima, sea un dique, un puerto o simplemente una boya, es la de proporcionar las condiciones de seguridad necesarias para obtener una adecuada transferencia de mercancías o pasajeros, y en algunos casos, como en los puertos deportivos, facilitar abrigo adecuado a las embarcaciones. Por lo tanto se puede obtener un diseño eficiente mediante la combinación apropiada de los siguientes elementos: abrigo natural, dique, defensas y estachas.

En el caso específico de puertos deportivos, son esenciales el abrigo natural y los diques con un alto grado de protección, pero para buques que exigen grandes calados, debe estudiarse si la protección por medio de un dique es viable, principalmente en los casos en que el abrigo natural sea pequeño. Se debe tener en cuenta el enorme coste de un dique construido en aguas de más de cuarenta metros de profundidad, ya que pudiera ser que fuera superior al diseño de un sistema novedoso de amarre que pudiera mantener al buque en condiciones seguras. [38]

Todos los buques atracados poseen unos periodos de oscilación dependientes de las características del buque y de la geometría y rigidez del sistema de estachas y defensas. Por lo que cuando el periodo de las olas se aproxime al periodo natural de oscilación del barco atracado, se amplificarán sus movimientos y se incrementarán por tanto las fuerzas a las que están sometidas las amarras, pudiéndose producir de manera repentina la ruptura de las mismas. El estudio de este fenómeno, y la forma de combatirlo, así como la búsqueda de métodos revolucionarios de amarre, serán algunos de los fines de esta tesis. [42]

Los problemas más complejos que se producen cuando el barco está atracado son debidos a fenómenos de resonancia del sistema “barco-estachas-defensas”. Estos fenómenos, están generalmente relacionados con olas de gran período, incluso con pequeña amplitud, contra las que los diques ofrecen relativamente poca protección.

El alargamiento de un dique, permitirá que la agitación en el interior de las dársenas disminuya, pero no variará de forma considerable el periodo de las

olas. De la experiencia obtenida con los ensayos con modelos se ha comprobado que en algún caso específico, el alargamiento de un dique, del orden de 300 m, producía una disminución relativamente poco considerable en determinados movimientos de los barcos, especialmente en los afectados por ondas largas (vaivén, deriva y guiñada). De cualquier forma se pueden evitar los fenómenos de resonancia modificando la configuración de amarras y defensas. Desde este punto de vista, el diseño de un sistema de atraque adecuado, teniendo en cuenta el comportamiento dinámico del buque, tendría un efecto más beneficioso sobre el buque que el originado por la reducción de la agitación en la zona de muelles de atraque.

La altura de ola debería ser utilizada como criterio de la agitación del puerto y de su navegabilidad, pero deben ser los movimientos de los barcos y las fuerzas asociadas a ellos los que fijen los criterios de diseño más adecuados. Sería absurdo disponer de dársenas protegidas del oleaje y que después los buques sufrieran movimientos que impidieran las operaciones de carga y descarga.

El artículo "The. Motion of Ships Moored in Waves", que podría considerarse como el primer estudio científico de los problemas de los barcos atracados, enuncia la siguiente frase, que puede considerarse como dato importante de esta tesis: [97]

"La mejora de los puertos por medio de la reducción de la agitación interior es muy cara. En un futuro, posiblemente deba prestarse mayor atención al diseño de los sistemas de amarre como un medio de limitar los movimientos de los barcos en el puerto".

Y pienso que en ese artículo se inició, lo que hoy en día podría estar llegando a su fin, al ya existir sistemas de amarre que pueden controlar estos movimientos de los buques.

4.3.2 MOVIMIENTOS DEL BUQUE ATRACADO

El buque en la mar, sometido a todas las fuerzas actuantes, se mueve según seis (6) grados de libertad. Tres de traslación y tres de rotación. [21] [22] [78] [79]

Traslaciones:

- 1 - Movimiento vertical de ascenso y descenso: Arfada (o alteada)
- 2 - Movimiento lateral a ambas bandas: Deriva
- 3 - Movimiento longitudinal de avance o retroceso.

Rotaciones:

- 4 - Según el eje vertical: Guiñada de rumbo.
- 5 - Según el eje trasversal: Cabeceo.
- 6 - Según el eje longitudinal: Balance.

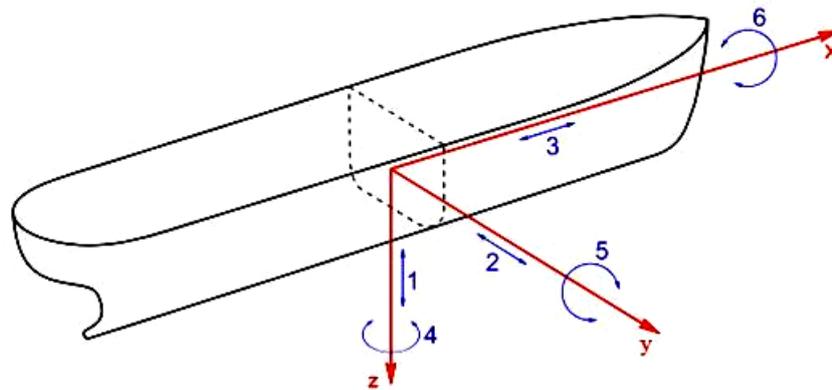


Ilustración 27

Un barco atracado tiene ese total de seis posibles movimientos, como puede verse en la figura anterior. El barco libre tiene tres modos naturales de oscilación, función de las características geométricas del casco y de su condición de carga. Estos movimientos son seis: tres desplazamientos y tres rotaciones. [100] [102]

Tres movimientos son en el plano vertical:

- Ascenso y descenso, o arfada (heave)
- Balance (roll)
- Cabeceo (pitch)

Y tres movimientos en el plano horizontal:

- Vaivén (surge)
- Deriva (sway)
- Guiñada (yaw)

Además los movimientos estarán relacionado con el balance (roll), relacionado con la estabilidad transversal, cabeceo (pitch) y alteada (heave), dependiente del área de la flotación.

Cuando el barco está atracado, los periodos naturales asociados a estos modos de oscilación son reducidos en un cierto grado por las configuraciones de amarre, profundidad del agua, etc. aunque sin alteraciones en sus órdenes de magnitud. Tal reducción es mayor para barcos pequeños con amarras rígidas. [19]

Balance: El periodo natural viene dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_{trans}}{g \Delta GM_t}}$$

Donde:

I_{trans} = Momento de inercia del buque respecto al eje x

Δ = Desplazamiento del buque

GM_t = Altura metacéntrica transversal

g = gravedad

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

El periodo de balance no es directamente una función del tamaño del buque, sino una medida de la estabilidad, relacionada con el desplazamiento, el estado de carga y el área de la flotación. La carga tiene gran influencia generando periodos más altos a plena carga y menores con el buque en lastre. Valores típicos y orientativos de este periodo, en segundos, son los siguientes:

- Embarcaciones deportivas y pesqueros: 3 - 5
- Cargueros pequeños: 7-10
- Cargueros 7000-11000 TPM: 9-14
- Trasatlánticos: 16 - 18
- Petroleros 100000 TPM: 10 - 14
- Petroleros 300000 TPM: 12 – 16

El periodo del **cabeceo** viene dado por la siguiente ecuación:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_{long}}{g \Delta GM_l}}$$

I_{long} = Momento de inercia del buque respecto al eje y

Δ = Desplazamiento del buque

GM_l = Altura metacéntrica longitudinal

g = gravedad

El periodo es menor que en el balance, del orden del 60% al 80% de éste, debido fundamentalmente al valor del GM longitudinal, unas 100 -200 veces mayor que el transversal.

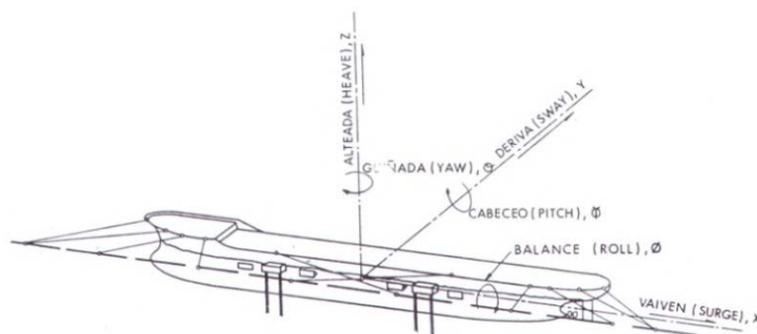


Ilustración 28 (Fuente: CEDEX 1990)

La magnitud de los movimientos verticales de un buque navegando en un canal de acceso es función de numerosos factores entre los cuales se puede mencionar:

- Las características del buque: eslora, manga, calado, DWT.
- Los periodos propios de oscilación del buque: balance, cabeceo y ascenso y descenso.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- La velocidad del buque relativa a la celeridad de la ola (frecuencia de encuentro).
- Velocidad del buque y sentido de navegación.
- La relación profundidad de agua/calado (relación h/T).
- Las características del oleaje (altura, periodo, longitud de onda y dirección relativa).
- La duración del encuentro entre buque y oleaje.
- Las condiciones de corrientes creciente o bajante.
- Estrategia de los prácticos al navegar.

La respuesta de un buque en movimiento al oleaje incidente es función de la frecuencia de encuentro, de la relación entre la longitud de onda del oleaje y la eslora del buque, la dirección relativa de incidencia del oleaje, y de la masa del buque.

Por otro lado, la respuesta de buques grandes a olas se podría considerar despreciable en los siguientes casos:

- Longitudes de onda pequeñas.
- Alta frecuencia de encuentro con alturas pequeñas

Los efectos del oleaje sobre buques típicos tienden a aumentar a medida que aumenta la altura de ola y a disminuir a medida que aumenta la eslora del buque. La respuesta máxima se produce cuando se presentan longitudes de onda iguales o casi iguales a la eslora del buque. Los buques típicos tienen respuestas muy pequeñas a olas con periodos menores a 6 segundos dado que los periodos propios de oscilación de los buques son mucho mayores.

En general, a medida que la longitud de onda aumenta y la frecuencia de encuentro disminuye, el movimiento vertical del buque aumenta. Con ondas muy largas, o cuando el buque navega a una velocidad similar a la de las olas, los movimientos del buque tienden al valor de la altura de ola. Además, si el buque encuentra olas con una frecuencia cercana a alguno de los periodos propios de oscilación del buque, la respuesta del buque se incrementa. Esta respuesta es muy sensible al ángulo de aproximación del oleaje y a la frecuencia de encuentro.

En situaciones donde la rebanada bajo quilla es muy pequeña, la respuesta vertical tiende a ser pequeña. Esto sucede a medida que el espacio entre quilla y fondo se hace pequeña y los efectos viscosos se convierten cada vez en más importantes. Con rebanadas bajo quilla muy pequeñas existe una disipación de energía muy significativa a medida que el agua escapa del espacio intermedio, lo que desemboca en una atenuación de la respuesta.

Otra clasificación de los distintos tipos de buques, distinta a la anterior, nos arroja valores de periodos de balance en aguas tranquilas de:

- Buques de carga: 10 a 14 seg.
- Buques mixtos: 17 a 20 seg.
- Buques de pasaje: 20 a 25 seg.
- Buques de guerra: 8 a 15 seg.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- Buques de pesca: 8 a 14 seg.

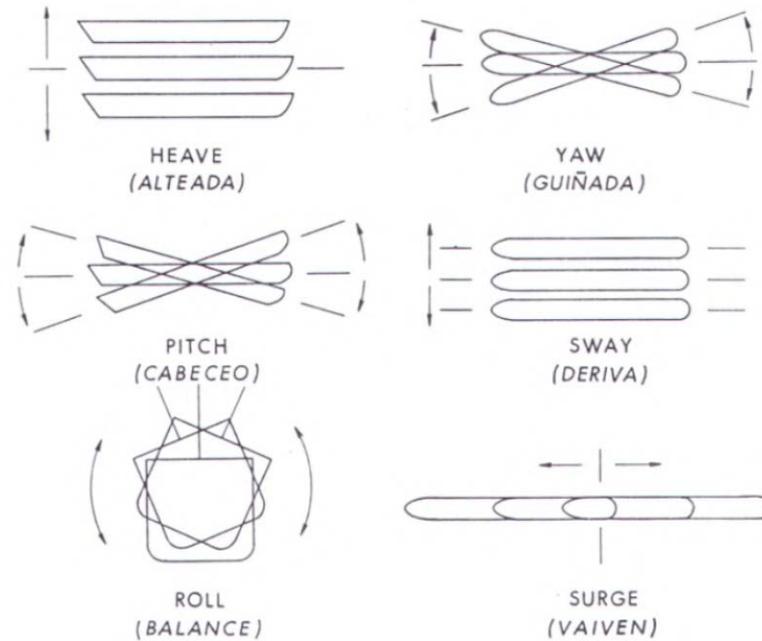


Ilustración 29 (Fuente: CEDEX 1990)

Arfada: El periodo de arfada depende sobre todo del área de la flotación y varía de forma importante con el calado del buque. Su valor es:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta}{\gamma A_{flot}}}$$

A_{flot} = Área de la flotación

Δ = Desplazamiento del buque

γ = Peso específico del agua

El orden de magnitud típico puede verse en la tabla siguiente:

<u>CALADO (m)</u>	<u>PERIODO (seg.)</u>
1.0	4
3.0	6
6.0	9
10.0	12
20.0	17

El buque amarrado tiene tres formas adicionales de oscilación inducidas por la interacción con sus defensas y estachas: la deriva (sway), la guiñada (yaw) y el vaivén (surge). Los periodos naturales de estos tres movimientos son generalmente mayores que los de los anteriores, y están muy influidos por las características del sistema de amarre.

Como ejemplo, se adjuntan los resultados de los ensayos realizados por el Danish Hydraulic Institute (DHI) en 1968 para una terminal petrolífera en Tenerife. Como puede verse, los periodos naturales de deriva, vaivén y guiñada varían de forma importante con las características del sistema de amarre.

Tabla 4: PETROLERO DE 300.000 TPM (DHI, 1968)

AMARRAS	DEFENSAS	PERIODOS NATURALES (seg.)		
		DERIVA	GUIÑADA	VAIVEN
Elásticas	Normales	100	100	100
Rígidas	Normales	50	45	120
Elásticas	Muy rígidas	115	85	160
Rígidas	Muy rígidas	60	50	100

El empleo de defensas y estachas rígidas reduce los periodos naturales de oscilación, pero a la vez incrementa las fuerzas en amarras y defensas.

Como resumen se indican los periodos naturales de oscilación de petroleros de tres tamaños, 30.000, 100.000 y 300.000 TPM (datos del DHI), con amarras elásticas y defensas normales para comparar los órdenes de magnitud.

Tabla 5: PERIODOS NATURALES DE OSCILACION (DHI, 1968)

MOVIMIENTO	300.000 TPM		100.000 TPM		30.000 TPM	
	P.CARGA	LASTRE	P.CARGA	LASTRE	P.CARGA	LASTRE
CABECEO (pitch)	12	11	9,5	8	9	6.5
BALANCE (roll)	16	14	13	10	12	9
DERIVA (sway)	100	50	55	40	32	14
GUIÑADA (yaw)	100	50	50	25	20	15
VAIVEN (surge)	100	115	85	70	65	45

4.3.3 AMPLITUDES ADMISIBLES

Siempre existirá margen de movimiento en el buque, puesto que es inviable la existencia de un sistema de amarre absolutamente rígido. No obstante, dependiendo del tipo de buque y de la operación que se esté llevando a cabo, e incluso de las condiciones atmosféricas, deben definirse los límites admisibles en cada movimiento.

De forma similar a otros campos de la ingeniería, se definen dos tipos de límites: por una parte, un límite de seguridad, determinado por la integridad del barco, el muelle o las estachas, y por otro lado, un límite operativo, pasado el cual hay que

interrumpir las tareas de carga y descarga para evitar daños a personas, equipos o a la misma carga.

El *límite de seguridad* deberá estudiarse en cada caso particular. En primer lugar se define un límite máximo tomando como datos las cargas soportables por las estachas y defensas. En un segundo nivel se considera la carga máxima sobre el muelle o instalación portuaria. Y por último se tendrá en cuenta el límite de integridad del buque (normalmente la presión máxima sobre el casco).

El *límite de operatividad* está sujeto a criterios más subjetivos, y dependerá fundamentalmente del tipo de buque y el sistema de carga/descarga que utilice. Así, por ejemplo, los petroleros cargan a lo largo de una plataforma mediante mangueras flexibles conectadas cerca del centro del buque. Por ello, la guiñada y el vaivén tienen poca importancia. No se considera en este momento la utilización de monoboyas o fondeos. Pero los mineraleros cargan a través de escotillas mediante cucharas o sistemas de cinta, por lo que interesa reducir el vaivén, la deriva y la guiñada (sobre todo al cargar las bodegas extremas). Por el contrario, la arfada no es muy grave si el movimiento es lento.

Los portacontenedores especializados disponen de un entramado de guías verticales en el que encajan los contenedores con tolerancias muy pequeñas. La carga se lleva a cabo con movimientos verticales, entrando los contenedores en las guías, mediante conos o atracción magnética. En cualquier caso, las amplitudes de movimiento deben reducirse al mínimo, sobre todo el vaivén y la deriva.

Tabla 6: Límites de trabajo (Fuente: CEDEX 1990)

Type of ship	Reference	Surge (m)	Sway (m)(°)	Heave (m)	Roll (degrees)	Pitch (degrees)	Yaw (degrees)
VLCC ⁽²⁾	BRUUN (1979)	±2	0.5	±0.5	--	--	±1
	BRUUN (1981)	±2.3	1.0	±0.5	±4	--	±3
	DHL (1983)	±2.3	1.0	±0.5	±2	--	±3
LNG and LPG	BRUUN (1979)	±0.2	VS	VS	--	--	VS
	BRUUN (1981)	±0.1	0.1	N	N	--	N
	DHL (1983)	±0.1	0.1	N	N	--	N
Ore bulk carrier	BRUUN(1979)	±1.5	1.0	±0.5	--	--	±1-2
	BRUUN (1981) ⁽³⁾	±1.5	0.5	±0.5	±4	--	±2
	DHL (1983) ⁽⁴⁾	±1.5	1.0	±0.5	±2	--	±2
Grain bulk carrier ⁽⁵⁾	BRUUN (1979)	±0.5	0.5	±0.3	--	--	±1-2
	BRUUN (1981)	±0.5	0.5	±0.5	±1	--	±1
	DHL (1983)	±0.5	0.5	±0.5	±1	--	±1
Container (cellular) ⁽⁶⁾	BRUUN (1979)	±0.5	0.3	±0.3	--	--	N
	BLOOM et al. (1980)	±0.6	0.4	±0.6	--	--	--
	BRUUN (1981)	±0.5	0.3	±0.3	±3	--	±2
	DHL (1983)	±0.6	0.4	±0.6	±1	--	N
RO-RO (side ramp) ⁽⁷⁾	BRUUN (1979)	±0.3	0.2	±0.1	--	--	N
	BRUUN (1981)	±0.2	0.2	±0.1	N	--	N
	DHL (1983)	±0.2	0.2	±0.1	N	--	N
RO-RO (bow or stern ramp)	BRUUN (1979)	±0.1	N	±0.1	--	--	N
	BRUUN (1981)	±0.1	N	±0.1	N	--	N
	DHL (1983)	±0.1	N	±0.1	N	--	N
General cargo ⁽⁸⁾	BRUUN (1981)	±1.0	0.5	±0.5	±3	--	±2
	DHL (1983)	±1.0	0.5	±0.5	±2	--	±2

4.3.4 FUERZAS EXTERIORES

La funcionalidad de cualquier puerto viene condicionada por la agitación en el interior del mismo. Las condiciones de estancia de las embarcaciones, las condiciones de trabajo para carga y descarga, los esfuerzos sobre embarcaciones y amarras así como las cargas a las que se ven sometidas las estructuras de defensa exterior, muelles, protecciones, etc. vienen determinadas por la acción de las oscilaciones y corrientes asociadas en el exterior y en el interior del puerto. Las oscilaciones en las dársenas o ensenadas naturales del litoral español tienen períodos que varían entre los 6 y los 1200 segundos y sus consecuencias sobre la funcionalidad de los puertos varían considerablemente. [9] [55]

Así, en el mar Cantábrico, es conocido desde hace muchos años que bajo determinadas condiciones de oleaje (por ejemplo mar de fondo), aunque el puerto esté bien abrigado al oleaje (6-30 s), la dársena puede oscilar con un período de varias veces el período del oleaje incidente. En general, se ha comprobado que este régimen oscilatorio de largo período está relacionado con las variaciones del nivel del mar vinculado a los grupos de olas.

Por otro lado, en algunas calas y puertos del levante peninsular, Cataluña y las Islas Baleares, se han observado variaciones del nivel del mar de amplitud extraordinaria que han sido correlacionadas con unas condiciones meteorológicas determinadas y la presencia de ondas gravitatorias atmosféricas recogidas en los registros de presión en la superficie.

Éstos son solamente dos de los diferentes mecanismos que son capaces de inducir agitación de largo período en el interior de los puertos. Sin embargo, existen muchos otros mecanismos como los tsunamis, la transferencia no lineal de energía de las componentes de corto período a las de largo período, etc. cuya presencia e incidencia sobre la actividad portuaria depende de varios factores propios de la zona donde se encuentra ubicado el puerto (clima marítimo, presencia o no de grupos, profundidad relativa a la que se encuentra el puerto, existencia o no de procesos de rotura en situación de temporal, proximidad del puerto a playas, etc...); así como de características propias del puerto (geometría, calado, tipo de contorno, etc.).

Además, es importante destacar que el clima marítimo está siempre definido por la acción simultánea de las ondas de corto y largo período. Es evidente que a la hora de realizar el planeamiento, el diseño y/o la remodelación de un puerto es esencial contar con el conocimiento de las oscilaciones en el interior de las dársenas o en las proximidades del puerto.

En el pasado se ha afrontado su estudio de diferentes maneras, fundamentalmente mediante técnicas de simulación física y técnicas de simulación numérica. Pero hasta hace no muchos años ha existido una tendencia a modelar por separado los procesos asociados a onda larga, de los correspondientes a la onda corta. Se ha hecho un gran trabajo a la hora de determinar los períodos naturales de resonancia asociados a los puertos y sus variaciones con la geometría, calados y contornos. Sin embargo, el modelo numérico presenta varias

limitaciones inherentes principalmente a las ecuaciones que se utilizan. Estas son las que condicionan los procesos que se están modelando. Las ecuaciones empleadas hasta ahora no han tenido en cuenta, o lo han hecho de forma limitada, la importancia de los efectos no lineales, condicionando ostensiblemente el rango de profundidades relativas en los que dichos modelos son aplicables.

Por otro lado, al estudiar por separado ambos tipos de oscilación, el acoplamiento o interacción entre las mismas no ha sido modelado, lo cual supone asimismo una limitación importante. Algunos de los modelos existentes presentan además la limitación de ser estacionarios, por lo que no permiten, por ejemplo, estudiar las oscilaciones inducidas en un puerto a partir del registro tomado en una boya exterior. Los modelos numéricos presentan otras limitaciones derivadas de las condiciones de contorno así como de las formulaciones empleadas para la simulación de la rotura o fricción en el fondo.

Una ausencia notable en la mayoría de los modelos existentes en la actualidad es la falta de presencia de condiciones capaces de formular adecuadamente los procesos que tienen lugar cuando se encuentra una playa en el interior del puerto o cuando ciertas partes del puerto se inundan y desecan según las condiciones de marea.

Esta condición de flujo ascenso-descenso o de secado e inundación precisa un contorno móvil y sus efectos son sumamente importantes especialmente en la mayor parte de los puertos pesqueros del Cantábrico.

Por tanto, parece evidente que aunque se ha realizado un esfuerzo muy importante en el estudio de la agitación portuaria, existen importantes lagunas en el modelado numérico dado que muchos procesos, de gran trascendencia para la mayoría de los puertos de nuestro litoral, no están incluidos o no son correctamente simulados en los modelos existentes. [52] [53] [55]

Entre otros, sería deseable contar con un modelo entre cuyas características fundamentales se incluyera:

- La consideración simultánea del efecto de las ondas de largo y corto período.
- La capacidad de cubrir tanto profundidades intermedias como reducidas simulando adecuadamente los efectos de las diferentes componentes del oleaje irregular incidente.
- La consideración de interacciones no lineales entre componentes.
- La cualidad de ser transitorio con el fin de poder establecer sistemas de aviso.

A cada puerto, con una configuración geométrica determinada le corresponden diferentes frecuencias naturales. Si existe un forzamiento exterior cuya frecuencia o frecuencias coinciden con alguna de las frecuencias propias de la dársena, las amplitudes de las oscilaciones en el interior de la dársena aumentarán hasta que la disipación de energía, por efecto de la fricción en el fondo, la absorción en los contornos y la radiación a través de la bocana compensen la energía introducida en el sistema por el forzamiento. [55]

Estas grandes amplitudes en el interior de las dársenas pueden dar lugar a movimientos excesivos de los buques así como a importantes esfuerzos en las estachas conducentes a la rotura de las mismas.

Por tanto, a la hora de diseñar un nuevo puerto o introducir modificaciones en puertos existentes, es importante tener conocimiento de las frecuencias propias o naturales de las dársenas así como de los posibles mecanismos exteriores causantes de las resonancias.

Los períodos típicos resonantes asociados a un puerto son del orden de minutos, por lo que es evidente que las resonancias no son causadas directamente por las ondas de viento en el exterior, dado que éstas tienen períodos característicos del orden de segundos.

Posibles mecanismos para el forzamiento de resonancias portuarias pueden ser los tsunamis, anomalías en la presión atmosférica, ondas infra-gravitatorias no lineales generadas localmente y ondas infra-gravitatorias libres generadas y radiadas en zonas lejanas al puerto. Existen varios casos documentados en los que se ha detectado la presencia de efectos resonantes originados por tsunamis o anomalías en la presión atmosférica.

Los trabajos realizados por diversos grupos de investigación en el Mar Mediterráneo han permitido constatar la relación existente entre las oscilaciones del nivel del mar en el puerto con oscilaciones simultáneas de presión atmosférica asociadas a trenes de onda. Sin embargo, y como ya se ha dicho, éstas no son las únicas causas de los problemas de resonancia que se producen en puertos en todo el mundo. Varias observaciones en el campo han puesto de manifiesto que las resonancias portuarias pueden ser inducidas fundamentalmente por ondas infra-gravitatorias libres originadas lejos de la costa.

Más aún, las ondas largas libres pueden ser generadas localmente (dentro o en las inmediaciones de un puerto), a través de la interacción entre la onda larga ligada y los contornos del puerto. El Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria (G.I.O.C.) ha realizado varios estudios sobre las oscilaciones de largo período. De ellos se desprende que en varios puertos españoles- Gijón, Llanes, Luarca, Lastres, Palamós, Rosas, etc.- el régimen oscilatorio de largo período en las dársenas, está correlacionado con la oscilación del nivel medio del mar vinculado a los grupos de olas.

La oscilación de la dársena es forzada por la onda libre, que se genera como compensación del gradiente de presiones; éste es provocado por la evolución de la onda larga ligada en respuesta a la modificación de las características cinemáticas y dinámicas del grupo de olas debido a la propagación del oleaje.

Sin embargo, existen otros casos en los que, a pesar de la ausencia de energía de onda larga en el exterior del puerto, se encuentra que las frecuencias correspondientes a onda larga se ven amplificadas en el interior de las dársenas por efecto de la transferencia no lineal de energía de las componentes de corto período a las de largo período. Este es el caso de puertos situados en

profundidades reducidas o puertos en los que se produce la rotura en zonas próximas a la bocana en condiciones de temporal. En el Cantábrico multitud de puertos pesqueros cumplen ambas condiciones. Así mismo, varios puertos del Mediterráneo, deportivos, pesqueros y comerciales presentan el mismo problema.

4.3.5 TÉCNICAS DE ESTUDIO DE LA AGITACIÓN PORTUARIA

Para geometrías del puerto y variaciones de la profundidad simples las frecuencias naturales y las correspondientes oscilaciones de la superficie libre pueden ser modeladas analíticamente.

Sin embargo, para geometrías y batimetrías más complejas, sometidas a excitaciones transitorias, y donde además los efectos no lineales pueden ser importantes, la respuesta del puerto sólo puede ser determinada mediante la utilización de modelos físicos o modelos numéricos.

A pesar de que los modelos físicos pueden dar algunos resultados interesantes, es necesario tener en cuenta varias de sus limitaciones. Costosos de construir, la modificación de su configuración así como la toma de datos durante un largo período de tiempo, si se desea tomar los datos con una alta resolución espacial, supone un alto coste adicional.

Por otro lado la construcción de modelos de onda larga requiere la utilización de tanques de grandes dimensiones en los que se pueda garantizar la disipación de la onda larga; especialmente de ondas largas espurias asociadas al proceso de generación.

El proceso de generación presenta también varios inconvenientes y más aún el proceso de absorción de la pala. Además, encontrar una escala adecuada para realizar estudios de onda corta y onda larga sobre un mismo modelo, lo cual optimizaría los costes de explotación y construcción, es sumamente difícil. Más aún, parece evidente que estos modelos tan específicos se encarecerán más en el futuro.

Otra de las técnicas de estudio posibles se encuentra en el trabajo experimental en el campo. En general costoso debido a los equipos y a la duración de las campañas, presenta además el inconveniente de servir únicamente para explicar la situación en el momento de la toma de datos, pero nunca con fines predictivos.

Por último se cuenta con los modelos numéricos. Dichos modelos presentan la gran ventaja de su versatilidad. Es decir, una vez configurada la geometría inicial se puede estudiar infinidad de casos modificando las condiciones de oleaje, geometría etc. Son, sin duda, los más utilizados por la gran cantidad de información que ofrecen.

Sin embargo, los modelos numéricos también presentan limitaciones que derivan, entre otras, en las limitaciones propias de:

- Las ecuaciones
- Las condiciones de contorno
- El esquema numérico utilizado
- La validación realizada
- Las rutinas de pre- y post proceso

Por ello, cualquier nuevo modelo numérico que se desee desarrollar debe mejorar alguna o varias de las limitaciones citadas.

4.3.6 REVISIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS

En principio, el movimiento oscilatorio asociado a las ondas en un fluido Newtoniano e incompresible, puede ser modelado mediante las ecuaciones de Navier-Stokes, que representan los principios de conservación de la masa y del momento lineal. Las condiciones de contorno en la superficie libre que garantizan la existencia de una interfase y la continuidad del tensor de tensiones a través de la superficie libre son necesarios para determinar la posición de la superficie libre. [76]

Tanto las ecuaciones de Navier-Stokes como las condiciones de contorno en la superficie libre son no lineales. Por tanto, y aunque se considere que la turbulencia puede desprejarse, el esfuerzo computacional necesario para resolver el problema tridimensional de la propagación de la onda, con una escala horizontal de cientos de longitudes de onda, es demasiado grande para poder ser asumido dentro del mundo profesional de la ingeniería.

4.3.7 SOLICITACIONES EXTERIORES DEL BUQUE

El buque amarrado se ve sometido a solicitaciones exteriores. Las características geométricas y físicas del sistema “buque - estachas - defensas” se determinarán de lo que puedan hacer frente a los esfuerzos siguientes, dando como resultado movimientos y cargas en las estachas, por debajo de los valores admisibles. [19]

Por tanto, uno de los factores a conocer es el conjunto de las acciones exteriores que se creen sobre el buque amarrado, tanto en su importancia relativa como en sus puntos. [23] [24]

Los causantes de las fuerzas más destacados son:

- Viento y Corrientes
- Oleaje
- Resonancias por fenómenos de onda larga
- Mareas
- Paso de otros buques
- Carga/descarga del buque

A continuación se estudia someramente la influencia de cada una de estas sollicitaciones.

4.3.7.1 VIENTO

Aunque los primeros cálculos que se realizaron fueron basados en grandes buques, ensayos adicionales en buques menores han revelado que los coeficientes de viento y corriente no son significativamente diferentes en la mayoría de los casos. [69] [70] [71]

La figura 30 demuestra como la fuerza resultante debida al viento varía con la velocidad y dirección de éste. Para simplificar, las fuerzas debidas al viento en un buque se pueden descomponer en dos componentes: una fuerza longitudinal actuando paralelamente al eje longitudinal del buque y en una fuerza transversal, actuando perpendicular al eje longitudinal. La fuerza resultante genera un momento torsor. [87] [88]

La fuerza del viento en el buque también varía con el área de exposición del buque. Viento que entre por una cabeza (de amura o de aleta) sólo golpea en una pequeña porción del área total expuesta, por lo que la fuerza longitudinal es relativamente pequeña. Un viento de través, ejerce una gran fuerza transversal en el área expuesta lateral del buque. Para una velocidad de viento determinada, la máxima fuerza transversal generada por el viento en un VLCC es sobre cinco veces la fuerza generada por un viento longitudinal. Para un viento de 50 nudos en un buque tanque de 250.000 DWT, la máxima fuerza transversal es alrededor de 300 toneladas (2.942KN), mientras que las fuerzas longitudinales por proa son de cerca de 60 toneladas (589KN).

Tabla 7 (Fuente: Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition)

Mean Draft metres	Astern tonnes	Ahead tonnes	Transverse tonnes
6	47.8	68	303
7	47.2	66.7	283
8	46.7	65.3	263
9	46.1	63.9	244

Si el viento incide en el buque formando un ángulo de 45° entre el través y la proa (o popa), ejercerá una fuerza transversal y una longitudinal, tanto en la popa (o proa) como en el lateral del buque. Para una velocidad determinada de viento, tanto la componente de la fuerza transversal como la de la longitudinal de un viento a 45°, será menor que las correspondientes fuerzas causadas por el mismo viento soplando de través o de proa (o popa). [80]

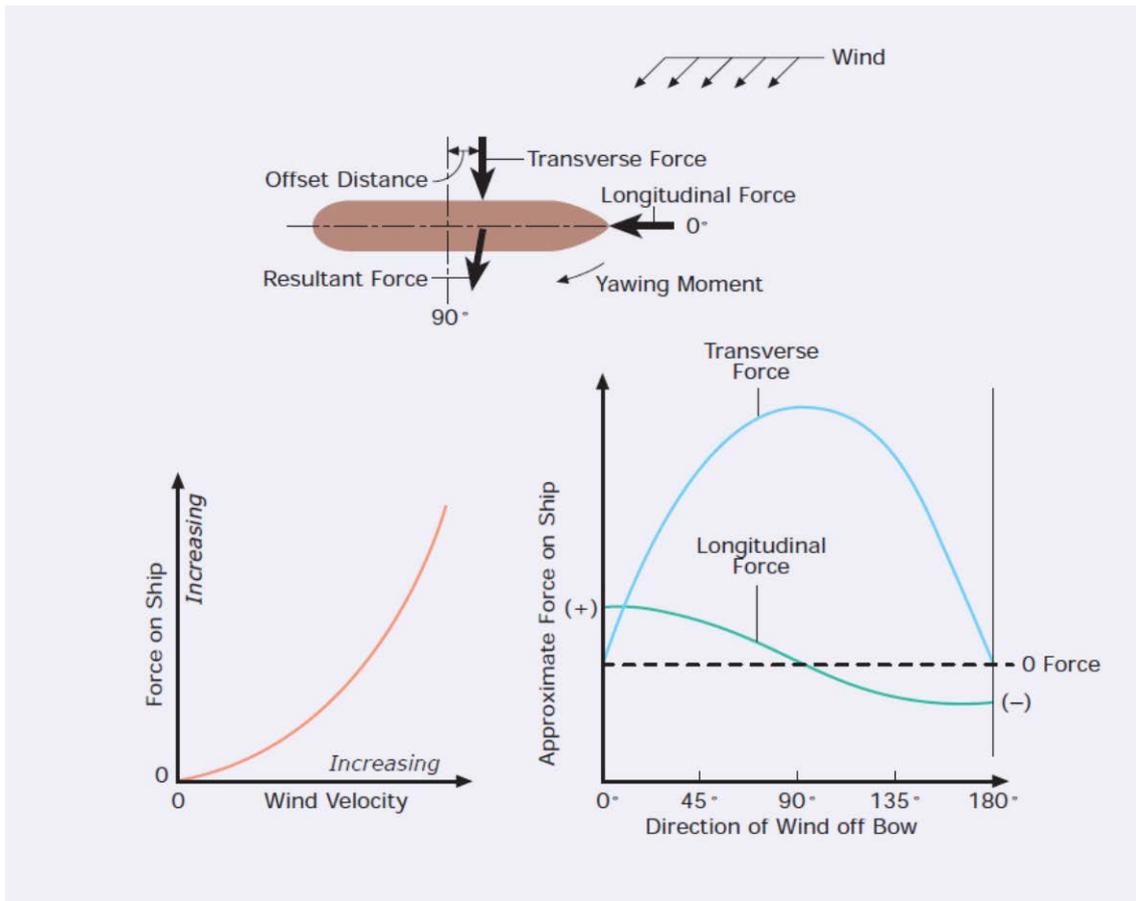


Ilustración 30 (Fuente: Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition)

Con la excepción del viento que es de proa o popa, o completamente de través, la componente resultante de la fuerza del viento no tiene la misma dirección que el propio viento. Por ejemplo, para un buque tanque de 250.000 DWT, un viento a 45° de proa, llevará a una fuerza resultante de sobre 80° a proa. En este caso, el punto de aplicación de la fuerza es a proa de la línea transversal central, produciendo un momento torsor al buque, es decir, efecto de guiñada.

Desde un punto de vista más tradicional puede distinguirse una acción estática (viento constante o con variaciones lentas de intensidad), y otra dinámica (viento racheado, ráfagas de intensidad y dirección cambiante), que deberán afrontarse con un enfoque diferente.

La fuerza total ejercida puede obtenerse multiplicando la presión dinámica, proporcional a v^2 , por el área del buque proyectada perpendicularmente al viento. Existen métodos, como las gráficas de la B.S.R.A. o las fórmulas de Isherwood, que determinan las componentes de la fuerza y el momento resultante sobre el buque, teniendo en cuenta el tipo de buque y la condición de carga. [4] [5]

El efecto del viento es muy apreciable en buques con gran arboladura o superestructura, y especialmente en situación de lastre, debido a la gran superficie expuesta. [6]

Por otra parte, el efecto del viento no siempre es negativo, pues si sopla de tierra

colabora a la pretensión de las amarras, lo que, como se verá más adelante, mejora en general las condiciones de amarre del buque. Lo anterior es cierto dentro de unos límites de intensidad, evidentemente

El "efecto racha" originado por un viento de intensidad variable en un corto espacio de tiempo puede producir efectos dinámicos de importancia sobre el buque atracado, cuyo tratamiento ya no resulta tan simplificado como el presentado en los métodos anteriores. [7]

4.3.7.2 CORRIENTE

Cuando se evalúa una disposición de amarre, las fuerzas debidas a la corriente deben añadirse a las fuerzas debidas al viento. En general, la variación de las fuerzas debidas a la corriente en un buque, debidas a la velocidad de la misma y su dirección, sigue un patrón similar que el de las fuerzas debidas al viento. Las fuerzas debidas a la corriente son más complicadas por la importancia del efecto del calado bajo quilla. La figura siguiente nos muestra el incremento de la fuerza debido a la reducción de la profundidad bajo quilla. La mayoría de los muelles están orientados más o menos paralelos a la corriente para minimizar esas fuerzas. Sin embargo, debe ser tomada en consideración incluso una corriente con un pequeño ángulo (de cerca de 5°) respecto a crujía, ya que puede crear una gran fuerza transversal. [80]

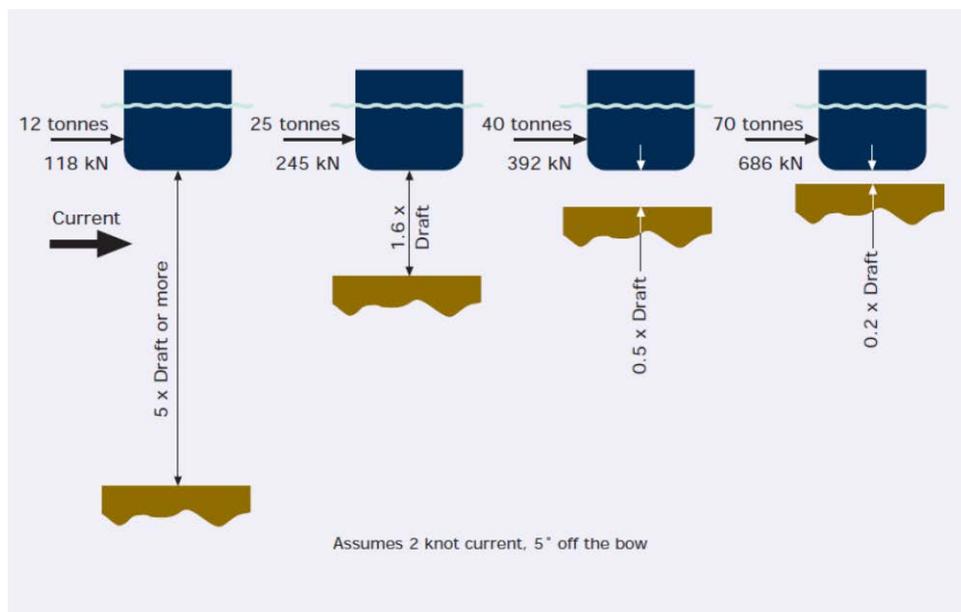


Ilustración 31 (Fuente: Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition)

Ensayos con modelos indican que la fuerza creada por una corriente de proa (o popa) de un nudo, en la cabeza de un buque tanque cargado de 250.000 DWT, con un calado bajo quilla de 2 metros, es sobre 5 toneladas (45 KN), mientras que la carga desarrollada por una corriente de un nudo que entre de través, con la misma profundidad, es del orden de 230 toneladas (2.256 KN). Para una corriente de 2 nudos, la fuerza creada sería sobre 14 toneladas (137 KN) cuando viniese la corriente de proa y 990 toneladas (9.712 KN) cuando viniese de través.

Los efectos de la corriente son de tres tipos: la fuerza de presión, la fuerza de fricción y la posible inducción de oscilaciones laterales por efecto "flutter" (similar a las autoexcitaciones producidas en los puentes colgantes).

Será muy importante distinguir entre la influencia de la corriente en fondeos en mar abierto, donde su velocidad puede ser apreciable, y en el interior de las dársenas, zonas habitualmente protegidas y con poca intensidad de corriente. En este último caso, la dirección de ésta será sensiblemente paralela al muelle, salvo excepciones.

Como en el caso del viento, la B.S.R.A. proporciona un método de cálculo de la fuerza y el momento total ejercidos por la corriente. La intensidad de su acción es proporcional a v^2 , igual que antes. La fuerza de fricción es, generalmente, de poca importancia, por la baja velocidad en zonas protegidas (un máximo de 3 nudos). [21]

Un parámetro fundamental, además de la velocidad de la corriente, será el resguardo bajo la quilla ("underkeel clearance"), definido como el espacio vertical libre desde el fondo del buque hasta el fondo de la dársena. Si éste es reducido, bien por el alto calado del buque o por encontrarse la dársena en bajamar, la influencia de la corriente puede multiplicarse hasta seis veces el valor en aguas profundas.

El efecto "flutter" puede aparecer cuando existen corrientes de cierta intensidad y dirección paralela al eje de crujía del buque. En esta situación, y bajo determinadas circunstancias, pueden producirse fenómenos de inestabilidad dinámica, que den lugar a oscilaciones laterales autoexcitadas. Este efecto podría ser importante para los buques amarrados en zonas con fuerte influencia de corrientes, de intensidad relativamente constante en magnitud y dirección (desembocaduras de rías, estuarios, por ejemplo), así como para el remolque de barcazas. Depende de la conjunción de varios factores simultáneos, entre los que influyen de manera importante el tipo y forma del buque, la frecuencia de oscilación, la profundidad del agua y la cercanía de la orilla o muelle.

Como orientación fundamental, puede decirse que aparecerá "flutter" cuando el brazo del momento ejercido por el conjunto de fuerzas exteriores (corriente, amarras, defensas) respecto al centro de gravedad del buque, tome un valor cercano al radio de giro, incluyendo la masa añadida. Se observa que la estabilidad aumenta cuando lo hace el ángulo entre la corriente y el eje del buque. [86]

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo estático de esfuerzos producidos por una corriente de intensidad y dirección constante, comentándose asimismo algunos gráficos obtenidos en el estudio de una barcaza simétricamente atracada en una zona uniforme de corrientes. [42]

Puede observarse cómo se producen fenómenos de autoexcitación lateral (“flutter”), a pesar de que el sistema de amarre y el ángulo de ataque de corriente sean simétricos. [42]

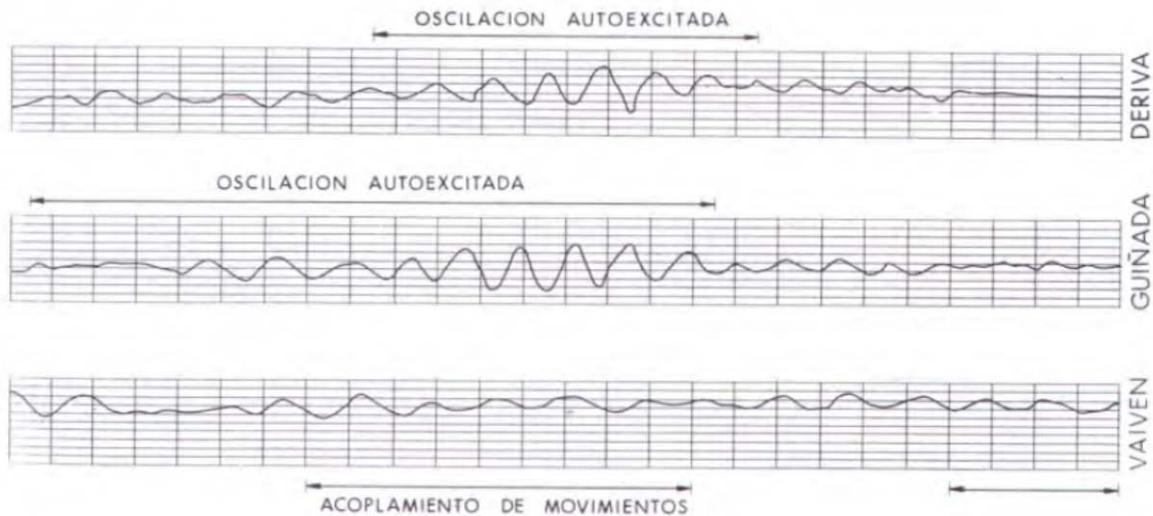


Ilustración 32: Diversos tipos de oscilaciones encontradas en los ensayos con una barcaza atracada simétricamente en una zona de fuertes corrientes. (Gómez Pina, ISVA 1978)

4.3.7.3 OLEAJE

En este apartado hay que distinguir entre ondas de corto período, denominadas normalmente olas (períodos inferiores a 20") y ondas de largo período, conocidas también como ondas largas, con períodos comprendidos entre 20 - 30" y 5', y escasa amplitud (10 a 50 cm). [19]

Las ondas de corto período son amortiguadas por los diques y otros elementos poco reflejantes del puerto y su entorno (muelles en claraboya, playas disipativas, etc.) en la mayoría de los casos, y no suelen constituir un problema grave para el amarre, salvo en zonas expuestas.

En un puerto diseñado dentro de los niveles habituales se consiguen coeficientes de agitación de hasta 0.1 para este tipo de perturbaciones. Su fuerza media es proporcional al cuadrado de su altura, y por lo tanto, se ve fuertemente reducida por la obra civil del puerto.

Por otro lado, sus períodos se alejan de los períodos de resonancia de vaivén, deriva y guiñada de los buques de porte medio y grande, por lo que no es esperable una gran amplificación de los movimientos, siendo la alzada el movimiento más susceptible de amplificación por el oleaje de corto período.

Las ondas largas, en cambio, son más difíciles de reducir, dadas sus condiciones de propagación. Pero además, tienen períodos cercanos a los de vaivén, deriva y guiñada.

Esto, junto con los bajos valores del amortiguamiento en este rango de frecuencias, da lugar a la aparición de fenómenos de resonancia. En esta situación, el buque amarrado absorbe una gran parte de la energía de las olas e inicia repentinamente movimientos de gran amplitud, difíciles de prever.

La defensa contra este tipo de fenómenos no está tanto en la reducción de la altura de la onda como en la modificación de los periodos naturales de oscilación del buque, actuando sobre la rigidez de las amarras y defensas.

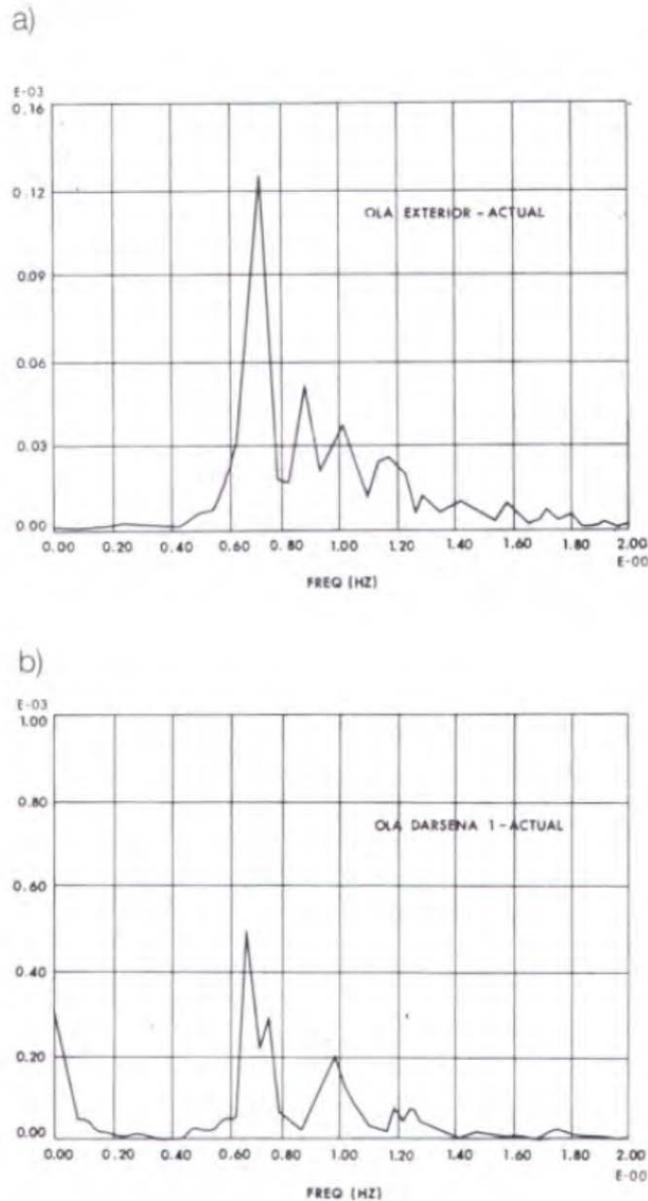


Ilustración 33: *Diferentes tipos de espectros de oleaje [98]*

a) En el exterior del puerto: Apenas existe energía en la zona de frecuencias bajas (Períodos altos del oleaje)

b) En el interior del puerto: Aparece un aumento de energía en la zona de los períodos más altos, debido a fenómenos de resonancia. Esta zona de energía de las ondas largas, es precisamente la principal responsable de los problemas ocasionados en los buques atracados.

4.3.8 RESONANCIA POR FENÓMENOS DE ONDA LARGA

Las ondas largas se propagan en mar abierto de forma similar a las ondas u olas de corto periodo, que nos son más familiares. El hecho de que su amplitud sea muy pequeña en mar abierto hace que sean muy difíciles de detectar visualmente. [19]

Este tipo de ondas, al penetrar en un recinto confinado, natural o artificial (dársenas, bahías, etc) pueden provocar a su vez ondas también de gran periodo y de tipo estacionario o casi estacionario, caracterizadas por presentar puntos de máximos movimientos horizontales (nodos) y verticales (antinodos), relativamente bien diferenciados. [90]

Estas ondas así creadas adoptan diversos nombres: "resacas", "seiches", entre los más conocidos. Cuando la dársena o la bahía experimenta este tipo de oscilaciones, diremos que se ha producido un fenómeno de resonancia (también se utiliza entre los hombres del mar, de nuevo, la palabra "resaca", de amplia utilización en nuestra lengua, para describir este fenómeno). [20]

El problema se complica aún más al existir un buque atracado, como se ha explicado anteriormente, ya que éste puede a su vez entrar en resonancia cuando alguno de sus movimientos (principalmente los de vaivén, deriva y guiñada) presenten periodos de oscilación cercanos a los de las ondas largas, con el consiguiente aumento de fuerzas en las estachas. [86]

Una de las causas de generación de onda largas la constituyen las variaciones brusca de presión en alta mar, capaces de crear, bajo determinadas condiciones, ondas largas (p.e: 2-5 min.), que al penetrar en un recinto confinado (p.e.: dársena, bahía) susceptible de entrar en resonancia, produjeran dentro de él ondas de tipo estacionario, causantes de numerosos problemas en los atraques.

Como ejemplo típico de este tipo de problemas, debemos resaltar el presentado en el puerto de Mutriku, resuelto de forma muy elegante e ingeniosa, por el Profesor Iribarren en 1958, después de realizar estudios en modelo físico. [47]

El problema de las ondas largas no sería tan grave si la única causa fueran las variaciones bruscas de presión o de viento, ya que las ondas largas sólo se presentarían cuando existieran esos fenómenos. [48]

Estudios realizados han demostrado que los grupos de olas que se presentan en un temporal son capaces de originar también una onda larga asociada que viaja con los grupos de olas, y que puede quedar libre en el proceso de amortiguamiento o reflexión del temporal, con el consiguiente peligro potencial de crear resonancias al quedar confinada. [98]

Además, dicha onda larga aumenta si aumenta la amplitud al reducirse el calado, como es habitual en las dársenas.

Otra de las causas de generación de onda larga es el proceso mismo de rotura del oleaje donde la variación del punto de rotura (debido a los grupos de olas) genera

una onda larga, que puede también crear fenómenos de resonancia si existe algún puerto cercano.

Resumiendo: el hecho de que existan grupos de olas (y en los temporales siempre los hay) hace que exista el peligro de que se "liberen" ondas de periodo largo, de difícil amortiguamiento, con el consiguiente peligro para el buque atracado. [47] [48]

Las oscilaciones del buque atracado se complican en la realidad aún más (es decir, no pueden ser descritas de una forma tan sencilla como si fuera un péndulo lineal simple), debido a las oscilaciones fuera de fase del buque, y a la no linealidad del sistema de amarros y defensas, entre otros factores.

A continuación se explican estos dos puntos:

- *Oscilaciones fuera de fase*: Si en un mar irregular un buque oscila con un cierto desfase con respecto a las olas, la fuerza media de éstas tendrá una componente sub-armónica de periodo largo, que puede ser una fuente más de excitación de movimientos del buque por resonancia.

- *No linealidad del sistema*: El comportamiento real de las estachas y defensas no es lineal, por lo que la respuesta a los fenómenos de onda larga se complica de forma importante y las amplitudes de movimiento resultan mayores.

Además, la disposición de sistemas de amarre no simétricos da lugar al acoplamiento entre los diferentes movimientos. En este caso, una excitación unidireccional ideal produciría oscilaciones en los seis grados de libertad del buque. Estos dos hechos, que no se suelen tomar en consideración en algunos estudios simplificados, pero que son inevitables, resaltan todavía más los fenómenos anteriores.

A continuación se presentan dos gráficos relacionados con los fenómenos de resaca y con la influencia de la constricción de la bocana en el factor de amplificación de una dársena. [19]

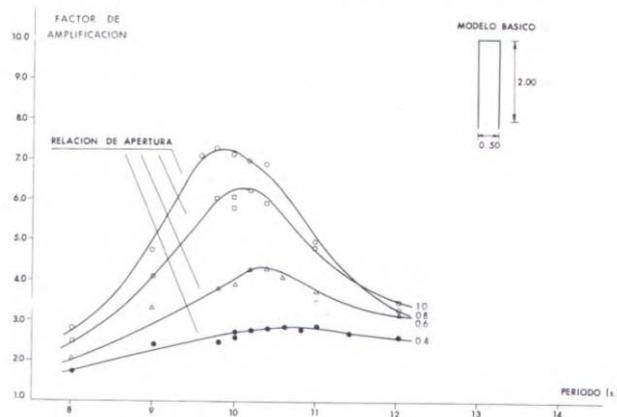
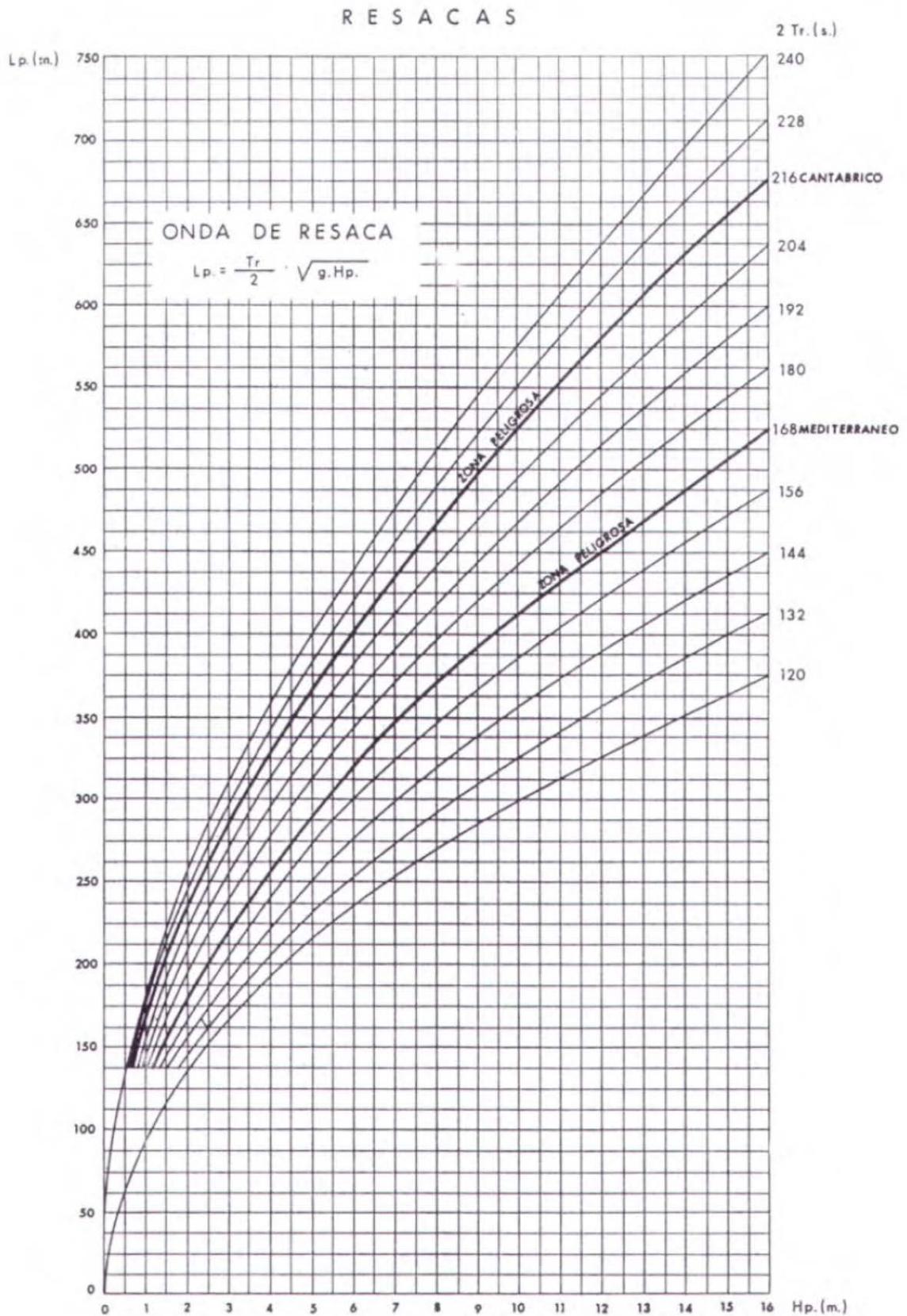


Ilustración 34: Influencia de la construcción de la bocana en el factor de ampliación (Martínez Martínez, Sánchez-Naverac CEPYC 1988)



4.3.9 MAREAS

En sí mismas no ejercen fuerzas sobre el buque amarrado, pero producen elevaciones y descensos de éste sobre el nivel medio que pueden dar lugar a que las amarras se sobrecarguen de forma importante, o bien que pierdan eficacia, o queden sueltas.

Lo ideal sería ajustar el sistema de estachas a cada situación teniendo en cuenta la distancia del buque al muelle, la altura de los bolardos, la amplitud de marea, la longitud inicial de las líneas, etc., pero ya que esto no es posible, al menos ha de corregirse el amarre en zonas con fuerte amplitud de marea en los niveles extremos, especialmente si se combina con otras fuerzas exteriores. En este sentido, es interesante el empleo de chigres de tensión constante.

Otro aspecto a tener en cuenta es la posición del buque con respecto a las defensas en los diferentes niveles de marea. La disposición de éstas deberá estudiarse de modo que se cubran todos los casos posibles, considerando los diversos tamaños de los buques que atracarán en el muelle considerado. Igualmente, habrá de tenerse en cuenta la fricción de las defensas en el casco al desplazarse éste verticalmente.

4.3.10 PASO DE BUQUES

El paso de buques por las proximidades del punto de amarre puede provocar un aumento de la agitación, debido al tren de olas asociado a un barco en movimiento. Los efectos pueden ser especialmente graves cuando hay velocidades excesivas o en determinados tipos de buques y dársenas. La importancia de este hecho es, de todos modos, semejante o incluso inferior a la del oleaje normal. [32] [33]

Si el buque perturbador pasa demasiado cerca del buque amarrado y a partir de una velocidad determinada, puede también producirse un fenómeno de "succión", semejante al conocido efecto de orilla. [106]

Los campos de presiones asociados a los dos buques interaccionarán, dando lugar a la aparición de fuerzas hidrodinámicas, que se ven magnificadas por la limitación de profundidad y por ser el flujo prácticamente bidimensional. Ello incrementará de forma súbita la tensión de las amarras.

La fuerza y el momento de atracción varían aproximadamente con el cuadrado de las velocidades relativas, por lo que su crecimiento es muy rápido.

4.3.11 CARGA Y DESCARGA

Los procesos de carga y descarga pueden dar lugar a fuertes variaciones de calado, dependiendo del tipo de buque y de la mercancía transportada. En cualquier caso, el problema es la modificación de la altura relativa entre buque y muelle.

Los efectos, como en el caso de la marea, deben ser estudiados para cada situación particular. Unas veces se producirá sobrecarga en las estachas y otras, por el contrario, quedarán amarras sueltas. En la mayoría de los casos se reducirá la eficacia del sistema de amarre.

Además, habrá que prestar atención a las situaciones de carga asimétrica que den lugar a escoras o asientos apreciables. En estos casos, se altera la simetría del sistema de amarre y las cargas se reparten de forma no homogénea.

La peor condición se dará con el buque cargando en marea vaciante (máximo descenso del buque) o descargando en marea llenante (máximo ascenso). En estos casos habrá que controlar con cuidado el sistema de amarre, e incluso corregir la posición del buque por medio de lastre.

4.3.12 SISTEMAS DE DEFENSAS

Cuando un buque llega a un muelle, es prácticamente imposible evitar el choque entre ambos; surge entonces la necesidad de un sistema de defensas, el cual tiene como función principal prevenir el contacto directo del buque con el muelle para evitar daños en ambos durante el proceso de atraque y amarre, y absorber la energía de impacto. [12] [109]

Sin embargo, las defensas no son solamente para proteger al sistema del impacto, también sirven como protección tanto para el buque como para el muelle mientras el buque está amarrado a este. [43]

Se utilizan diversos tipos de defensas para disipar la energía de impacto cuando un buque atraca a un muelle. Los sistemas de defensa para proteger muelles son, entre otros:

- Defensas de madera.
- Sistemas de pilares.
- Defensas de goma.
- Sistemas hidráulicos e hidroneumáticos.
- Resortes.

4.3.12.1 DEFENSAS DE MADERA

Las defensas de madera son el sistema de defensas más simple que existe. Consisten en troncos de madera con fibra de alta dureza y resistencia al impacto. La energía de absorción se traduce en el aplaste de las fibras y la flexión del grupo de troncos. La pérdida de fuerza puede ser causada por una mala construcción provocando que la madera se astille o por consideraciones de altas energías.

Este sistema es frecuentemente combinado con otro tipo de sistema para proveer mayor área de contacto incrementando así la eficiencia del sistema. Deben ser

utilizadas superficies de goma para proteger al buque de posibles daños ocasionados por el muelle durante el proceso de atraque o de posibles daños ocasionados por el movimiento relativo con otros barcos mientras se encuentran amarrados. [26]

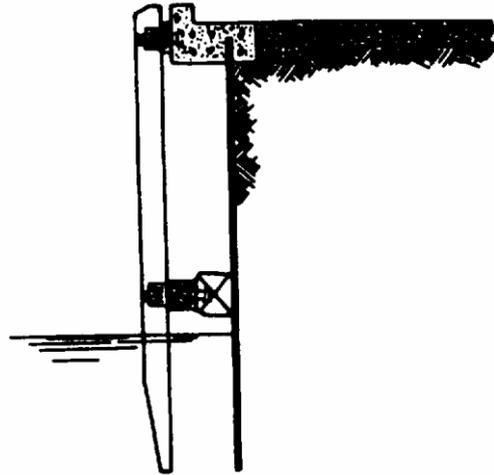


Ilustración 36 (Fuente: Da Costa González, 2006)

4.3.12.2 DEFENSAS DE GOMA

Consisten en una serie tubos de goma cilíndricos o rectangulares instalados detrás de un sistema estándar de pilares de defensas; los cuales podrán ser comprimidos en la dirección axial o radial; un arreglo típico de defensas de goma en compresión radial es mostrado en la figura 37. La energía de absorción viene dada por la deflexión de la defensa o por las características internas del material (goma) fuerza-deformación; la capacidad de absorción depende del tamaño del amortiguador y de la desviación máxima. En el diseño es necesario considerar una viga de madera para la transmisión de las fuerzas de impacto del barco al muelle. [26] [133]

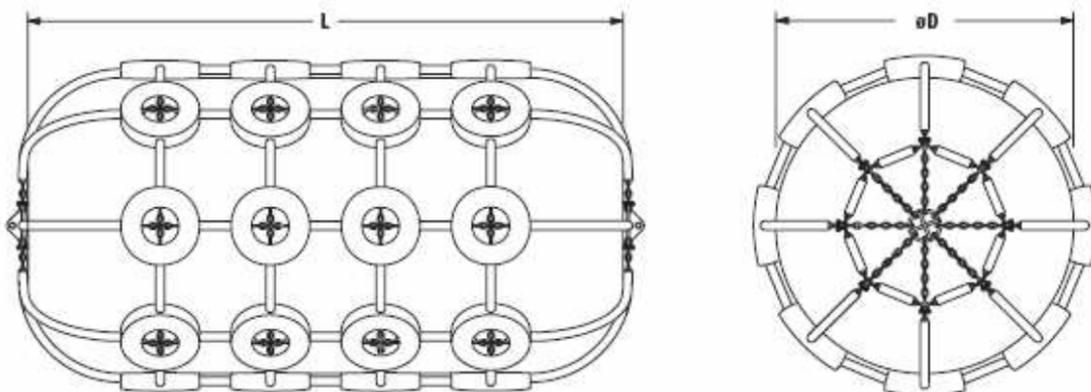
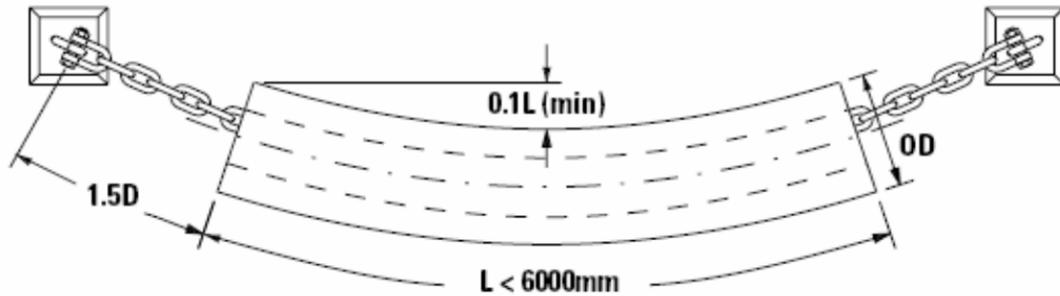


Ilustración 37 (Fuente: Da Costa González, 2006)

Elevación:



Sección:

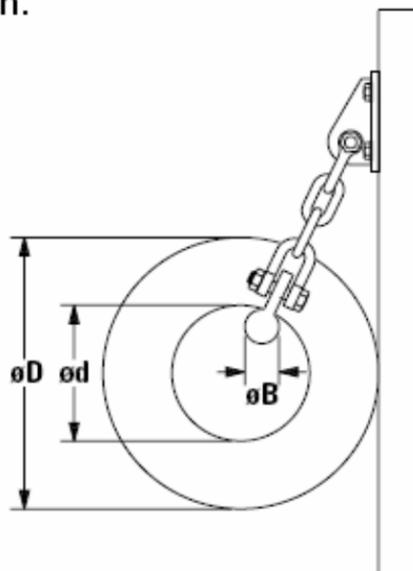


Ilustración 38 (Fuente: Da Costa González, 2006)

4.3.12.3 SISTEMAS HIDRÁULICOS E HIDRONEUMÁTICOS

Este sistema consiste en un cilindro lleno de aceite u otro fluido, dispuesto de tal forma que cuando es presionado el émbolo por el impacto, el líquido es desplazado a través de un orificio, no variable o variable, en un depósito situado a una cota superior. Cuando es disipada la energía de impacto, la alta presión dentro del cilindro crea una fuerza que coloca al émbolo de nuevo en su posición original y el líquido fluye nuevamente dentro del cilindro por gravedad. Este sistema se utiliza comúnmente donde existen viento severo, olas y corriente.

Estos amortiguadores hidráulicos poseen características de absorción de energía favorables para ambos casos, de atraque y amarre de buques. Una de las desventajas de este tipo de defensa es su alto costo inicial y de mantenimiento.

4.3.12.3.1 DEFENSA FLOTANTE HIDRONEUMÁTICA

En este sistema, una defensa de goma es llenada de agua o agua y aire; absorbiendo así la energía de impacto, por resistencia viscosa o por la compresión del aire. Esta defensa cumple los requisitos de la defensa ideal pero es económicamente poco viable por su alto costo inicial y de mantenimiento. Al igual que los amortiguadores hidráulicos, este tipo de defensa presenta características de absorción de energía favorables para los casos de ataque y amarre de buques.

4.3.12.4 RESORTES

Este sistema consiste en colocar un resorte de acero entre la estructura de ataque y el sistema de defensas flexible. La configuración más usual es un conjunto de pilares de acero con un recubrimiento de madera y los resortes, los cuales están colocados en una caja de metal, con tapa removible para facilitar el mantenimiento. En estos sistemas el principal mecanismo de absorción de energía es la compresión de los resortes, teniendo una capacidad adicional proporcionada por la deflexión de los pilares. El tipo de montaje de los resortes hace que este sistema sea apropiado para buques de tamaño uniforme.

4.3.13 SELECCIÓN DEL TIPO DE SISTEMA DE DEFENSA

Existe una extensa variedad de factores que afectan la selección apropiada del sistema de defensa. Estos factores incluyen: el ambiente local de la marina, la exposición del puerto, clase y configuración del buque, velocidad y dirección del buque en el momento de ataque, ayuda disponible en el muelle, tipo de estructura de ataque, e incluso las habilidades del piloto o capitán del buque. [60]

Se considera poco práctico el estandarizar los criterios de diseño del sistema de defensa, puesto que las condiciones en cada puerto no son idénticas.

En localizaciones expuestas es recomendable un sistema resistente, tal como son los sistemas de defensas de goma. En muelles abrigados se utilizan generalmente sistemas de pilares de madera o madera colgante.

La selección de una defensa depende si su principal función es absorber la energía cinética de impacto al momento de ataque, o mantener amarrado con seguridad un buque, durante las operaciones de carga y descarga.

Para las localizaciones donde las operaciones de ataque sean peligrosas, es recomendable el uso de sistemas de defensas rígidas con alta capacidad de absorción de energía, tales como las defensas tipo Raykin o los sistemas de defensas de goma en compresión axial. Este es el caso cuando el ataque ocurre bajo la acción de vientos, de corrientes y olas, sin la ayuda de remolcadores.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

Para puertos donde el comportamiento del buque amarrado es el principal factor, se utilizan defensas flexibles combinadas con cabos de amarre, obteniendo así una reducción en las fuerzas de amarre y minimización de los movimientos del buque.

Un tipo de defensas flexibles, como por ejemplo las defensas de goma en compresión radial, tiende a aumentar el período natural de oscilación del sistema de amarre, por eso la resonancia asociada a las olas de largo período o “seiches” puede ser evitada. Esto es aplicable en puertos en los cuales el atraque es auxiliado por remolcadores; pero la oscilación del agua en la zona protegida del puerto debido a la acción de los “seiches” es un factor importante en la selección de la defensa.

Donde las operaciones de atraque y el comportamiento del buque amarrado tienen la misma importancia, es recomendable elegir una defensa de tipo intermedio, que actúe de forma rígida durante el proceso de atraque y suavemente cuando el buque se encuentre amarrado. Los sistemas de defensa hidroneumáticos poseen características que satisfacen tales requisitos.

La distancia requerida por el sistema de defensa debe ser limitada para evitar inconvenientes durante el proceso de carga y descarga; generalmente el límite máximo es de 1 a 1,5 metros. Sin existir ningún problema si el sistema de defensa es para un tanque petrolero que implique solamente una fuente de combustible.

Para plataformas de amarre o atraque, es necesario un sistema de defensa resistente, ya que la longitud de la estructura disponible para la distribución de la fuerza de impacto es limitada.

Para un muelle abierto, cualquier tipo de sistemas de defensa puede ser aplicable. Para un muelle sólido, se debe considerar el uso de defensas resistentes de modo a reducir al mínimo daños en el buque.

Otros de los factores importantes en la selección de las defensas son:

- *Absorción de Energía:* Las defensas deben tener capacidad suficiente para absorber la energía de impacto.
- *Fuerza de reacción:* Es la fuerza ejercida en el buque y en el muelle en el momento del atraque.
- *Presión en el casco:* Es la presión ejercida en el casco del buque por una unidad de defensa. El valor medio de la presión es definida como la fuerza de reacción dividida por el área de contacto o la huella de la defensa en compresión. La presión en el casco máxima permitida para un buque determinado depende del diseño estructural de este y de la posición del punto de carga.
- *Costo inicial y de mantenimiento:* Deben ser considerados los precios iniciales y de mantenimiento tanto del sistema de defensas como de la estructura del muelle.

- *Espaciamiento*: Es de gran importancia que las defensas estén suficientemente cerca para evitar que la proa del barco penetre en la zona entre defensas, para ángulos de aproximación de hasta 15°
- *Nivel de la marea*: Se debe colocar un sistema de defensa en un nivel mínimo cuando el nivel de la marea varía entre 1,5 a 2 metros.

4.3.14 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS INSTALACIONES PORTUARIAS DE ATRAQUE Y AMARRE

El objetivo fundamental de una obra de atraque y amarre es proporcionar a los buques unas condiciones adecuadas y seguras para su permanencia en puerto y/o para que puedan desarrollarse las operaciones portuarias necesarias para las actividades de carga, estiba, desestiba, descarga y transbordo de pasajeros, vehículos y mercancías que permitan su transferencia entre buques o entre éstos y tierra u otros medios de transporte.

Las obras de atraque y amarre pueden clasificarse en:

- Muelles
- Pantalanes
- Duques de alba
- Boyas, campos de boyas y monoboyas
- Soluciones mixtas
- Estaciones de transferencia a flote

Los muelles se definen como estructuras de atraque y amarre fijas que conforman una línea de atraque continua, que en general excede en longitud al buque amarrado, y que están conectadas con tierra total o parcialmente mediante rellenos a lo largo de la parte posterior de las mismas, dando lugar a la creación de explanadas traseras adosadas.

Los pantalanes se definen como estructuras de atraque y amarre, fijas o flotantes, que pueden conformar líneas de atraque tanto continuas como discontinuas, donde se puede atracar a uno o a ambos lados. El principal elemento diferencial respecto de los muelles es que no disponen de rellenos adosados y, por tanto, no dan lugar a la creación de explanadas. Pueden estar conectados o no a tierra. En el primer caso la conexión suele realizarse bien por prolongación de la misma estructura o mediante pasarelas o puentes.

En general, los pantalanes que conforman líneas de atraque discontinuas suelen responder a soluciones mixtas, al estar constituidos o complementarse con varios duques de alba de atraque y/o de amarre, plataformas auxiliares generalmente donde no se puede atracar y boyas de amarre. [19]

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

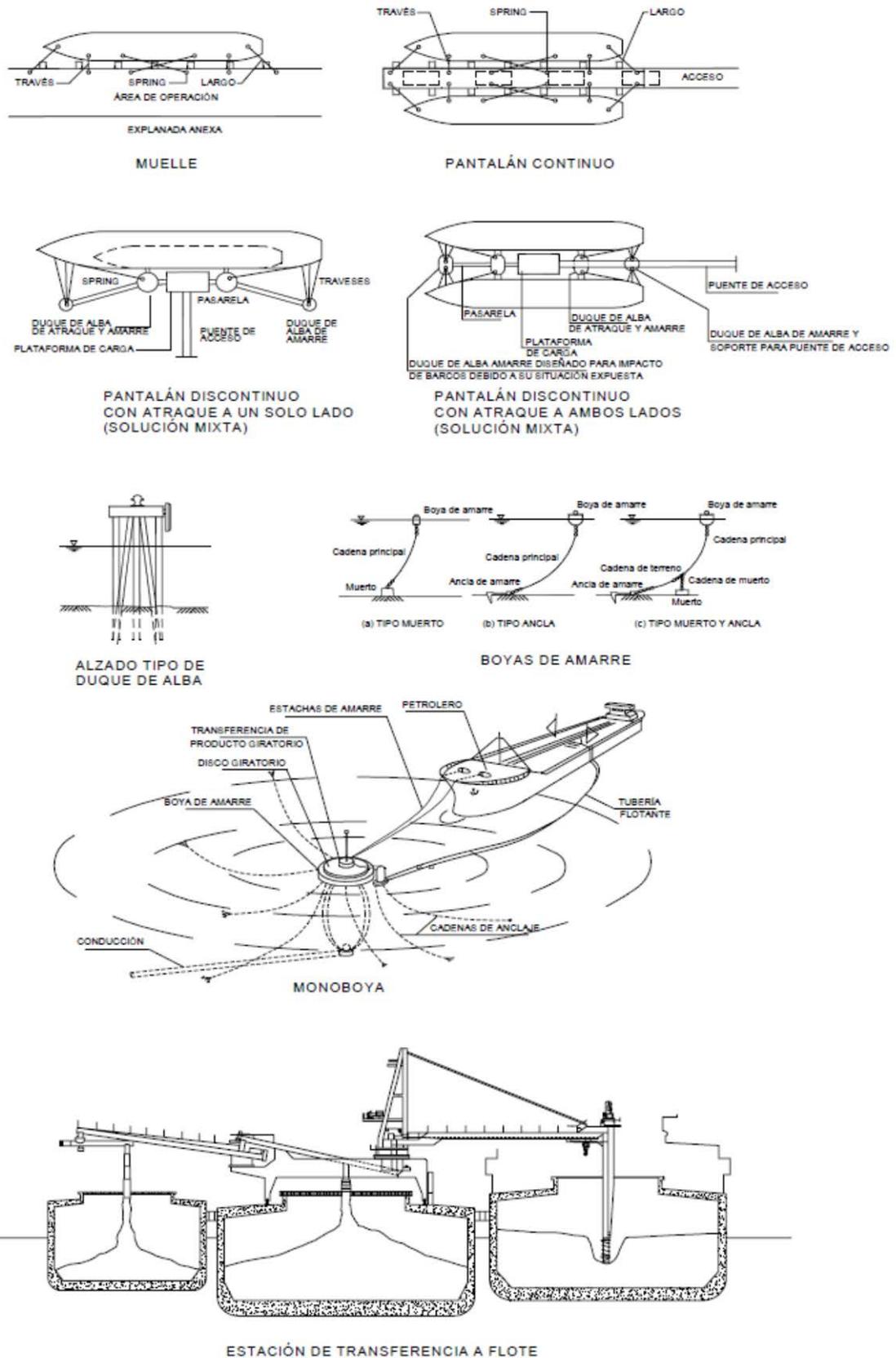


Ilustración 39

Los Duques de Alba son estructuras aisladas y separadas de la costa que se utilizan como puntos de atraque, de amarre, de ayuda a las maniobras de atraque, así como de varias de estas tres funciones simultáneamente.

Se pueden disponer aislados o formando parte de pantalanes discontinuos de solución mixta, bien delante o complementando a plataformas auxiliares no atracables, bien formando una única línea de atraque y amarre.

Las boyas son estructuras de amarre flotantes, cuya posibilidad de movimientos se encuentra limitada por una cadena amarrada a un ancla, a un muerto o a ambas cosas, los cuales suponen un punto fijo en el fondo. Una boya de amarre se denomina monoboya cuando adicionalmente permite la carga y descarga de graneles al estar conectada a tierra a través de una conducción submarina. En este caso la boya suele estar amarrada mediante varias cadenas con objeto de limitar al máximo sus movimientos horizontales.

Se denominan campos de boyas las disposiciones que posibilitan el amarre de un buque simultáneamente a varias boyas con el objeto de limitar los movimientos del buque amarrado.

Las estaciones de transferencia consisten en un buque silo dotado de medios de descarga que permite el atraque a ambos costados del mismo tanto de buques feeder o barcasas como de buques oceánicos. Este tipo de instalación supone una alternativa barata a instalaciones de transbordo en tierra, ya que puede funcionar en zonas poco abrigadas.

4.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES Y CABOS DE AMARRE

Los cables y cabos de amarre son los encargados de trincar el buque en el punto de atraque. Las Sociedades de Clasificación dictan normas sobre la fabricación, así como de las inspecciones posteriores de los citados cabos de amarre. Estos cabos se dividen en las siguientes partes principales: [90]

- Chicote: extremo del cabo.
- Seno: es la curvatura del cabo entre los extremos que lo sujetan.
- Firme: la parte más larga o principal del cabo.
- Gaza: anillo que se hace en el chicote del cabo que sirve para hacer firme en el cabo.
- Vuelta: atadura de un cabo a un objeto.
- Alma: es el núcleo en las estructuras de los cabos, y sirven de soporte al trenzado de sus cordones. Puede ser metálica o textil.

Las características de las amarras se corresponden con la naturaleza de su procedencia y constitución. Pueden agruparse en tres grandes bloques: fibras naturales, sintéticas y metálicas (cables de acero).

- a) Fibras naturales. Es el material clásico con el que se construyeron las amarras desde sus primeros momentos de la historia, ahora bien, cada día es menor su disponibilidad. Todavía son utilizadas en ciertas aplicaciones,

aprovechando las ventajas que proporcionan y que suelen resultar familiares a los dotaciones de los buques.

- Ventajas: coste bajo inicial, son bien conocidas por los marinos, aportan un comportamiento noble si no se ven sometidas a cargas de trabajo alternativas y de corta duración, flotan cuando están secas, moderada resistencia a la abrasión, escaso alargamiento cuando están sometidas a cargas de trabajo, ruido característico antes de faltar (de romperse) que sirve como aviso y no se funden con el calor.
 - Desventajas: muy vulnerables a las acciones del sol, calor, productos químicos, absorben agua, aumenta su peso y se incrementa la dificultad en la manipulación, tienen una vida corta y elevado coste de mantenimiento, tienen una baja relación carga/diámetro y carga/peso por lo que a igualdad de resistencia con otras fibras requieren mayor número de personas para su manipulación segura, lo que las hace más aparatosas y pesadas. Además si se estiban húmedas son propensas a la aparición de moho.
- b) Fibras sintéticas. Ocupan el primer lugar en el grado de utilización, aunque su uso varía dependiendo de la fibra considerada. Entre las utilizadas destaca el nylon, terileno y polipropileno.
- Ventajas: alta resistencia a los agentes químicos, buena resistencia a la abrasión, no se ven afectadas por la influencia del calor y tienen una larga vida. El nylon y el polipropileno flotan, en especial este último. El nylon y el terileno se funden a razonables temperaturas. El polipropileno tiene un coste más bajo que los otros dos.
 - Desventajas: tiene un coste inicial alto, elevados alargamientos (salvo el terileno) en la zona cercana a la rotura. Estas elongaciones pueden evitarse dando coeficientes de seguridad suficientes.
- c) Fibras metálicas. Los cables son utilizados para determinadas configuraciones (esprines), y especialmente en los equipos de trabajo a tensión constante, pero no son el medio fundamental de amarre.
- Ventajas: bajo coste, larga vida, casi nulo alargamiento, excelente resistencia a la abrasión, no absorben agua, resistentes a los productos químicos y tienen una alta relación resistencia/diámetro.
 - Desventajas: no flotan, poca resistencia a los estrechonzos, requieren elevado mantenimiento (en especial a la corrosión), precisan un número elevado de personas para su manejo y en general desgastan los equipos de amarre.

Para iguales cargas de rotura, las amarras de fibra sintética poseen diámetros inferiores que las de fibra natural. Si se precisa, por ejemplo, de una resistencia a la rotura (CR) de 86 toneladas, los diámetros comparativos según la constitución de la fibra, son:

Tabla 8: Relación amarras/diámetro

MATERIAL DE LA AMARRA	DIÁMETRO (mm)	MENA (PULG.)
NYLON	72	9
POLIESTER	80	10
POLIPROPILENO	88	1 1
MANILA SUPERIOR	112	14
CABLE DE ACERO M635	36	4,5

Las amarras de fibra sintética bajo el mismo esfuerzo de tracción se alargan unas dos veces más que las de fibra natural. No dan indicio de rotura hasta que están a punto de faltar.

En general, las amarras de fibra sintética son más indicadas para buques pequeños y de mediano tonelaje, o para buques que no precisen mantener una posición muy estricta y limitada en el atraque (y no para buques tanque conectados a brazos de carga con limitada variación de la orientación horizontal).

Respecto a los cables, una vez superado el límite de elasticidad (punto a partir del cual la relación alargamiento/esfuerzo deja de ser proporcional), quedan permanentemente deformados. Mientras el alargamiento en los cables llega al 1,5%, en amarras de nylon puede alcanzar el 30%. Los cables con alma de fibra son más fáciles de manipular y trabajan mejor sobre bitas, cabirones, etc., mientras que los cables con alma de acero son más indicados para chigres con tambor de almacenamiento, resistiendo mejor el efecto de aplastamiento.

Las amarras mixtas (sintética + cable) no son recomendadas, si bien cuando se utilicen, la longitud del largo de material sintético será de 11 m y una carga de rotura superior en un 25% al del cable al cual se relaciona.

A igualdad de tamaño y diámetro, al doblar la longitud de la estacha, la resistencia soportada se divide por dos. La fatiga de estrepada (tirón) o trabajo absorbido se calcula por: [25]

$$Q = \frac{C_e^2 \cdot l \cdot s}{2 \cdot E_a}$$

En la que “Ce” es la carga límite elástica, “l” la longitud considerada, “s” la mena de la estacha en mm, y “Ea” el módulo de elasticidad. Con ella, se puede observar

que aumentando la longitud del cable, también aumenta el trabajo absorbido, y por tanto la eficacia de la amarra.

4.4.1 CABLES DE ACERO

Se entiende por cable a un conjunto de alambres, trenzados según una ley determinada, que se comportan en su trabajo como una sola unidad. [64]

Los datos que caracterizan geoméricamente el trenzado de los cordones en un cable son (Fig. 40):

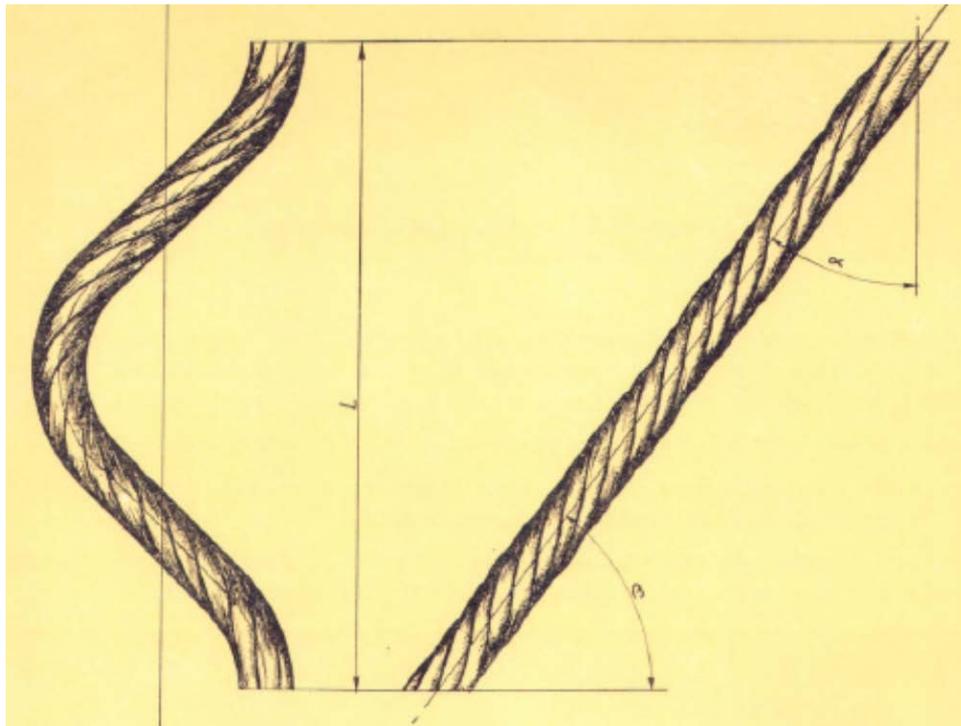


Ilustración 40 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

- Paso del cable, “L”, que es la longitud o paso de hélice del eje del cordón trenzado en el cable. Se mide según una recta paralela al eje del cable y es constante a todo lo largo de éste.
- Ángulo del trenzado, “ α ”, es el que forma la tangente al eje del cordón en un punto y la paralela por ese punto al eje del cable. Es constante para cada cable.
- Pendiente, “ β ” es el valor de la tangente del complemento de “ α ”.

Las notables diferencias en los esfuerzos a que se ven solicitados los cables en la variada gama de sus aplicaciones, ha dado lugar a numerosos tipos; no obstante, la composición más corriente de los cables consiste en un alma central, textil o metálica, alrededor de la cual se arrollan los cordones de alambre de acero.

Más adelante se indican los distintos tipos de cordones y de almas que se emplean en la construcción de los cables y que suponen otras tantas subdivisiones dentro de los grupos que seguidamente diferenciamos.

- **CABLES ESPIROIDALES:**

Constituyen la forma más elemental de cable ya que están formados por una o más capas de alambres, generalmente del mismo diámetro, que se arrollan helicoidalmente. (Fig. 41).

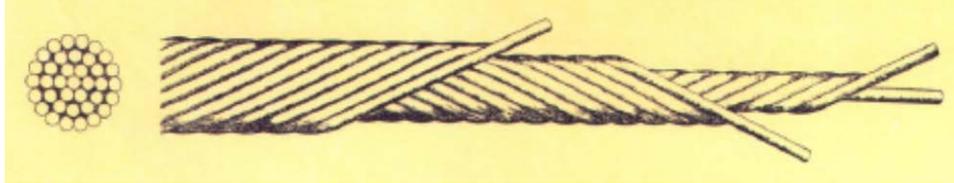


Ilustración 41

A igualdad de diámetro y resistencia del alambre, los cables espiroidales tienen mayor carga de rotura a la tracción que los cables ordinarios como consecuencia de su mayor sección metálica. Se entiende por sección metálica de un cable la suma de las secciones rectas de los alambres constituyentes.

Presentan una superficie bastante lisa, por lo que su comportamiento al desgaste es bueno. Como contrapartida, estos cables tienen una gran rigidez, lo que hace que su uso no sea indicado en las instalaciones en que el cable ha de estar sometido a esfuerzos de flexión.

Entre los cables espiroidales cabe diferenciar del resto aquellos que llevan alambres de forma, de perfiles especiales en X y Z, como son los cables semi-cerrados (Fig. 40) y los cerrados (Fig. 42).



Ilustración 42

- **CABLES ORDINARIOS:**

Son los más universalmente empleados, cubriendo una amplísima serie de aplicaciones. Están formados por un alma, textil o metálica, alrededor de la cual se arrolla una capa de cordones en número de 3, 4, 5, 6 u 8, si bien los de 8 y sobre todo los de 6 cordones, son los más corrientes.

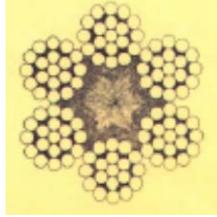


Ilustración 43

- **CABLES ANTIGIRATORIOS:**

Se caracterizan por tener dos o más capas de cordones trenzados helicoidalmente sobre un alma central metálica o textil.

Los alambres en los cordones y los cordones en el cable se trenzan en distinto sentido unos de otros, a fin de conseguir anular o reducir al mínimo el par de giro del cable (Fig. 44).

Sus propiedades más destacadas son, su gran flexibilidad y su escasa tendencia al giro, propiedad ésta última que los hace especialmente indicados para los trabajos de elevación en que la carga no va guiada.

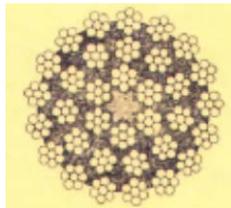


Ilustración 44

- **CABLES GUARDINES:**

También denominados cables de cables, están formados por varios cables, generalmente seis, arrollados helicoidalmente alrededor de un alma central (Fig 45).

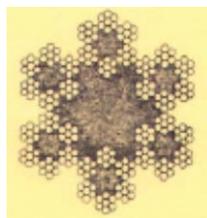


Ilustración 45

Sus características principales son una excepcional flexibilidad, mayor que la de ningún otro tipo, mal comportamiento al desgaste por rozamiento, debido al diámetro muy fino de sus alambres, y una carga de rotura baja por su escasa sección metálica.

- **CABLES PLANOS:**

Están constituidos por un cierto número de cables o ramales, generalmente de cuatro cordones, yuxtapuestos y sólidamente unidos por una ligadura transversal de alambre de acero. (Fig. 46).

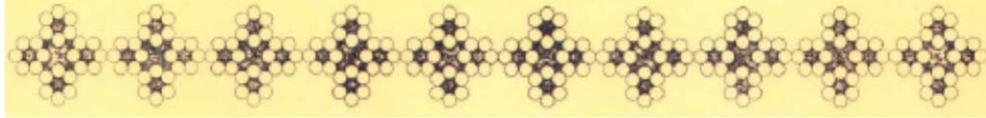


Ilustración 46

Los tipos más corrientes de cables planos se forman con 6, 8 ó 10 ramales de cuatro cordones, cada uno de los cuales consta de 6 ó 7 alambres según que tengan o no alma secundaria textil. Los ramales están tableados alternativamente a derecha y a izquierda para evitar la tendencia a la torsión del conjunto, que conduciría al alabeo.

Se caracterizan estos cables por su nula torsión, tanto descargados como cargados y su flexibilidad alta.

- **EL CORDÓN:**

Acabamos de ver que los cables se componen de uno o varios cordones y según el número y estructuración de éstos, se obtenían distintos tipos de cables. Cada uno de estos tipos se subdivide a su vez según las distintas clases de cordón que se emplee en su fabricación. La norma UNE-EN 12385, con diez partes, regula la normativa referente a los cables de acero.

Los cordones están constituidos por una o varias capas de alambre, trenzados helicoidalmente alrededor de un núcleo central. Las únicas excepciones a este respecto son los cordones de 2, 3 y 4 alambres en su primera capa, que carecen de dicho núcleo central. En la mayoría de los casos este núcleo es otro alambre cuyo diámetro es ligeramente superior al teórico que resulta de considerar circular la sección de los alambres de las capas al ser cortadas por un plano perpendicular al eje del cordón. Dicha sección se aproxima más a una elipse, con eje menor el diámetro del alambre. El núcleo central del cordón puede ser también un alma textil.

Las mismas constantes geométricas definidas para un cable se dan en los cordones, siendo “L” el paso del cordón, “ α ” el ángulo de trenzado y $\text{tg}(90^\circ - \alpha)$, la pendiente. (Fig. 47).

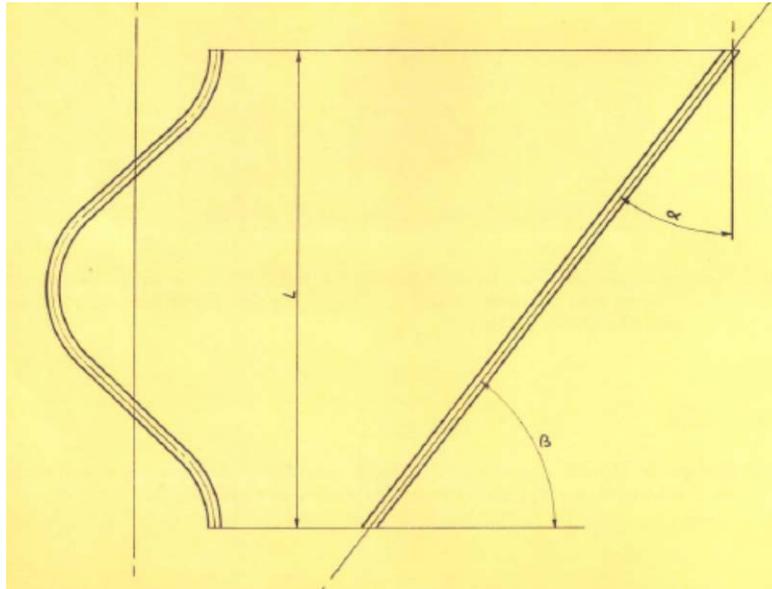


Ilustración 47 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

Los principales tipos de cordones se indican a continuación:

- Cordones ordinarios:

Se caracterizan porque los alambres de todas las capas tienen igual ángulo de trenzado (Fig. 48). En consecuencia el esfuerzo a que están sometidos los alambres trabajando a la tracción es el mismo. Los alambres de las distintas capas tienen contactos teóricamente puntiformes, lo que se traduce en elevados esfuerzos locales y entallas de los alambres en las zonas de apoyo.

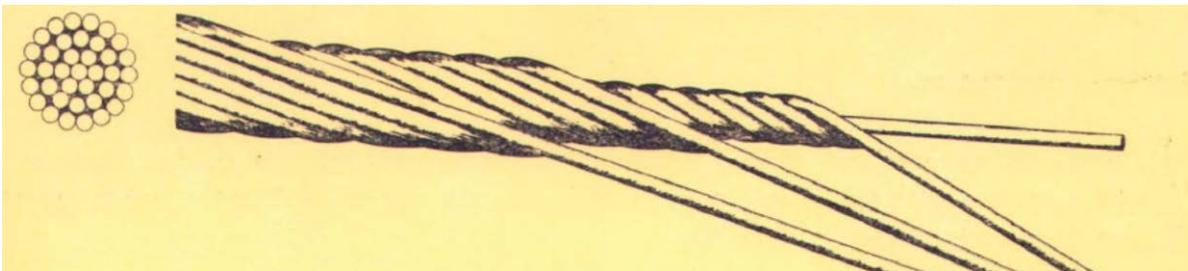


Ilustración 48 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

Los diámetros de todos los alambres, excepto el central, son iguales; debido a ello es considerable la superficie de huecos y en consecuencia la sección metálica es reducida.

- Cordones de alambres paralelos:

Se caracterizan estos cordones porque todas las capas de alambre están trenzadas con el mismo paso; por consiguiente dos alambres de dos capas diferentes tienen distinto ángulo de trenzado (Fig. 49).

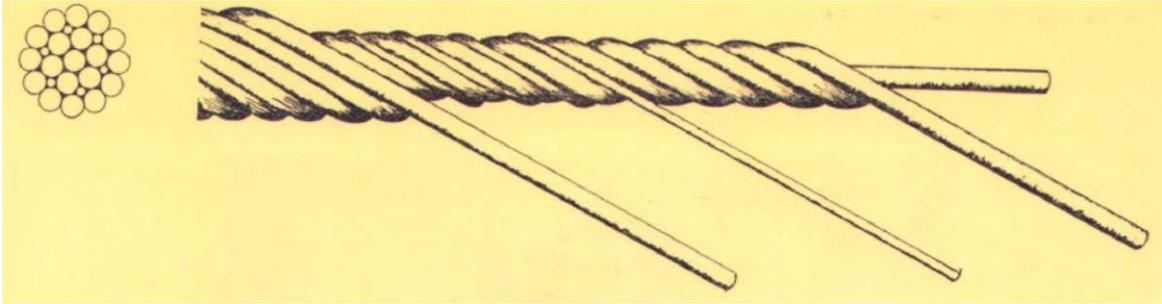


Ilustración 49 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

Los alambres de dos capas contiguas no se cruzan, sino que se apoyan linealmente a lo largo del cordón, no dándose en ellos los inconvenientes de elevados esfuerzos puntiformes.

Los alambres de las distintas capas no tienen el mismo diámetro, y las combinaciones más usuales dan lugar a cuatro tipos fundamentales.

- Cordones “Seale”:

Estos cordones tienen la última y la penúltima capa con igual número de alambres; los alambres de cada capa son todos del mismo diámetro y por lo tanto los de la última capa son más gruesos que el resto (Figura 50). Ello da a estos cordones, además de las características generales de todos los de alambres paralelos, una gran resistencia al desgaste por rozamiento.

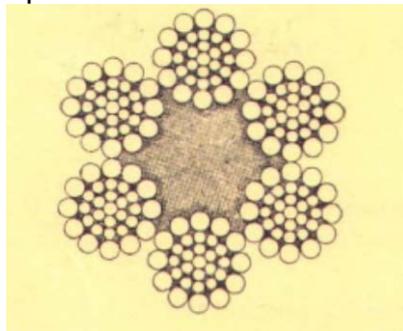


Ilustración 50 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

- Cordones “Warrington”:

Los alambres de la última capa, en número doble que los de la penúltima, son de dos diámetros; los de mayor diámetro apoyan entre los de la penúltima capa, mientras que los de diámetro menor apoyan sólo en un alambre de la capa subyacente (Fig. 51).

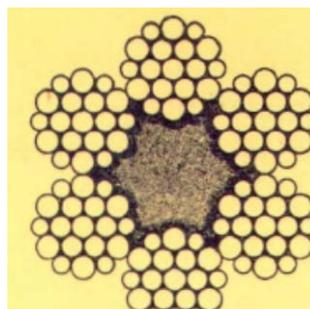


Ilustración 51 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

- Cordones “Warrington Seale”:
Hasta la penúltima capa inclusive, su construcción es la de un cordón Warrington, mientras que la última capa como en los Seale, tiene el mismo número de alambres que en la penúltima (Fig. 52).

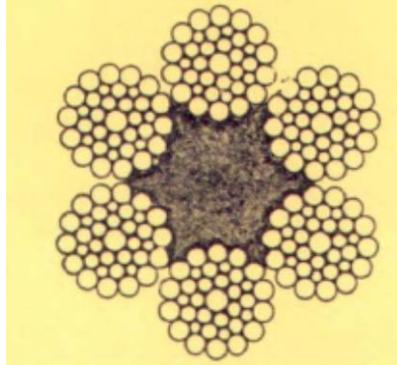


Ilustración 52 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

Tienen iguales características que los cordones Seale, pero presentan respecto a éstos la ventaja de una menor desigualdad en el diámetro de los alambres y una menor superficie de huecos.

- Cordones de alambres de relleno:
Tienen la capa exterior formada por doble número de alambres que la penúltima, y entre ambas hay finos alambres de relleno en igual número que en la penúltima capa, de forma que los alambres exteriores apoyen linealmente en un alambre de la penúltima capa y en uno de relleno (Fig. 53).

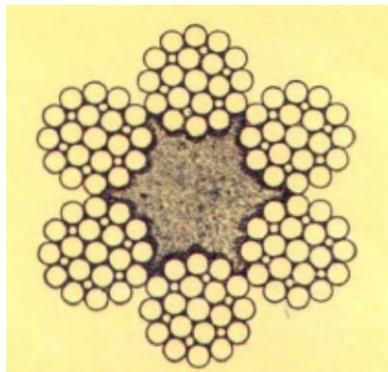


Ilustración 53 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

Tienen una elevada sección metálica, pero su comportamiento al desgaste por rozamiento es peor que el de los Seale y Warrington-Seale.

- Cordones triangulares:
En ellos la sección es aproximadamente un triángulo equilátero con los vértices redondeados. El cordón está constituido por una o dos capas de alambres trenzados alrededor de un alma metálica de forma triangular, que se compone de tres cordones, de dos alambres cada cordón, trenzados entre sí; además de estos

tres cordones de dos alambres, pueden llevar otros tres alambres de relleno. (Fig. 54).

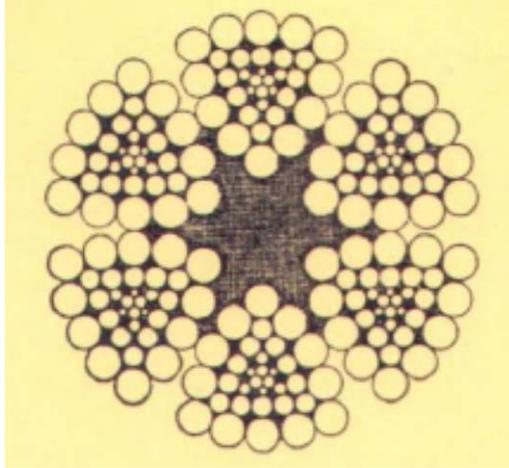


Ilustración 54 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

Los cables construidos con estos cordones presentan las siguientes propiedades:

- A igualdad de diámetro tienen de un 10 a un 20 % más de sección metálica que los de cordones redondos.
- Sus cordones tienen una mayor superficie de contacto entre sí.
- La superficie de apoyo en poleas y tambores es mayor, lo que hace menores los esfuerzos debidos a las presiones perpendiculares al eje del cable y el desgaste por rozamiento.
- Presentan la desventaja de la fuerte curvatura de los alambres en los bordes de los cordones.

- **Cordones planos:**

Tienen sección aproximadamente elíptica, estando constituidos por una o más capas de alambres que se trenzan alrededor de un núcleo que puede ser un alma de cáñamo, un alambre de forma de sección oval o varios alambres redondos convenientemente dispuestos. (Fig. 55).

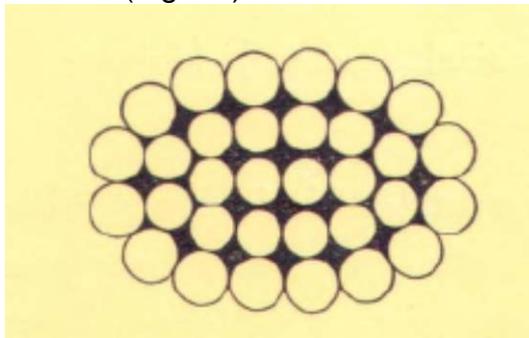


Ilustración 55 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

Los cables de cordones planos, que pueden llevar una o varias capas de éstos, presentan las mismas ventajas que los de cordones triangulares, si bien no en tan

alto grado y también tienen el inconveniente de la acusada curvatura de los alambres en las zonas de borde de sus cordones.

- Cordones con alambres de forma:

Entre los cordones que se construyen con alambres de perfiles especiales, los tipos más corrientes son los semi-cerrados y cerrados. (Figs. 40 y 41).

Actualmente los cordones semi-cerrados apenas se utilizan, pues, los cerrados tienen las mismas características pero con resultados mucho mejores.

Las peculiaridades de ambos tipos son principalmente:

- Una gran sección metálica y en consecuencia una elevada carga de rotura a la tracción.
- Una gran estanqueidad del interior del cordón, en el que es muy difícil entren agentes que ataquen el metal.
- Una gran superficie de contacto, muy uniforme.
- Una gran rigidez, lo que limita su aplicación a trabajos estáticos; no obstante algunos cables cerrados de construcción especial trabajan pasando por poleas y tambores.

4.4.2 EL ALMA

Tanto en los cables como en los cordones ha de haber un núcleo central sobre el que se trenzan los cordones y alambres de las capas. El núcleo central del cable recibe el nombre de alma principal o simplemente de alma. Si los cordones tienen a su vez alma textil, y no un alambre central como es lo corriente, estas almas textiles de los cordones reciben el nombre de almas secundarias. Los cables con almas secundarias son más flexibles pero tienen peor comportamiento que los ordinarios respecto al aplastamiento y a las deformaciones y a igualdad de diámetro tienen más baja carga de rotura.

Los tipos de almas empleados en los cables son las textiles, las metálicas y las mixtas de textil y alambre, si bien para muy contadas aplicaciones se utilizan otros tipos muy especiales como almas de muelle, etc.

- **ALMAS TEXTILES:**

Su aplicación tiene una doble finalidad:

- Servir de soporte deformable a los cordones constituyentes del cable, impidiendo un desgaste excesivo de los alambres por roces laterales y actuando como almohadilla firme, pero elástica, que facilita el desplazamiento relativo de los cordones y la deformación momentánea del conjunto del cable al pasar éste por una polea u órgano de arrollamiento.
 - Servir de almacén de grasa, que asegure la lubricación interior del cable.
- Estas almas suelen ser de cáñamo, yute, sisal o abacá, debiendo reunir las fibras las condiciones que ya hemos especificado con anterioridad.

Los cables con almas textiles tienen las ventajas derivadas de las dos funciones expuestas pero no son indicados cuando han de trabajar a elevada temperatura

que ocasiona una degradación de las fibras textiles y en consecuencia una prematura destrucción del alma. Tampoco deben emplearse estos cables cuando los esfuerzos de aplastamiento o deformación sean muy elevados.

- **ALMAS METÁLICAS:**

Cuando el cable ha de trabajar soportando una elevada temperatura o los esfuerzos transversales son muy acusados, se emplea alma metálica en vez de textil. Los cables con alma metálica tienen mayor carga de rotura a la tracción, pero resultan más rígidos que los de alma textil y su comportamiento a la flexión es en consecuencia peor.

Como alma metálica pueden emplearse ya sea un cordón, igual que los restantes del cable o de distinta composición, ya sea un cable generalmente de composición 7 x 7 +0.

Las almas de cordón hacen que el cable sea más rígido que los que tienen alma de cable 7 x 7 +0.

Suelen emplearse también estos cables en instalaciones ya en servicio, y que por lo tanto necesitan un cable de un diámetro determinado, cuando es preciso que la carga de rotura a la tracción sea más elevada que la que se puede obtener con cables de alma textil.

- **ALMAS MIXTAS:**

Están constituidas por un conjunto de cordones de alambres de acero y de fibras textiles.

Gozan de propiedades intermedias entre las puramente textiles y las totalmente metálicas, pudiendo aplicarse con ventaja en muchas de las ocasiones apuntadas como indicadas para las almas metálicas, si bien no pueden trabajar a elevadas temperaturas.

Tienen mayor resistencia a la tracción y soportan mejor los esfuerzos transversales que los cables con alma textil y son más flexibles que los de alma metálica.

4.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES

Trata este apartado de las características de los cables, que los definen, y han de ser indicadas al hacer un pedido.

- **LA LONGITUD:**

Siendo de un determinado valor en cada caso, es preciso fijarla señalando, en caso de que sean varias piezas, la longitud de cada una de ellas. La longitud debe ser la deseada, con una tolerancia de 0 y + 2,5 % en longitudes inferiores a 1.200 mts., y 0 y +30 mts., para longitudes mayores. Debe tenerse presente que esto se

refiere a la longitud del cable nuevo ya que, como posteriormente se verá, todos los cables en su vida normal de trabajo sufren un alargamiento, variable según las condiciones de trabajo y la composición del cable.

- **EL DIÁMETRO:**

El diámetro de cable es el del círculo circunscrito a su sección recta. Normalmente se expresa en milímetros o pulgadas y su determinación práctica debe hacerse como indica la Fig. 56.

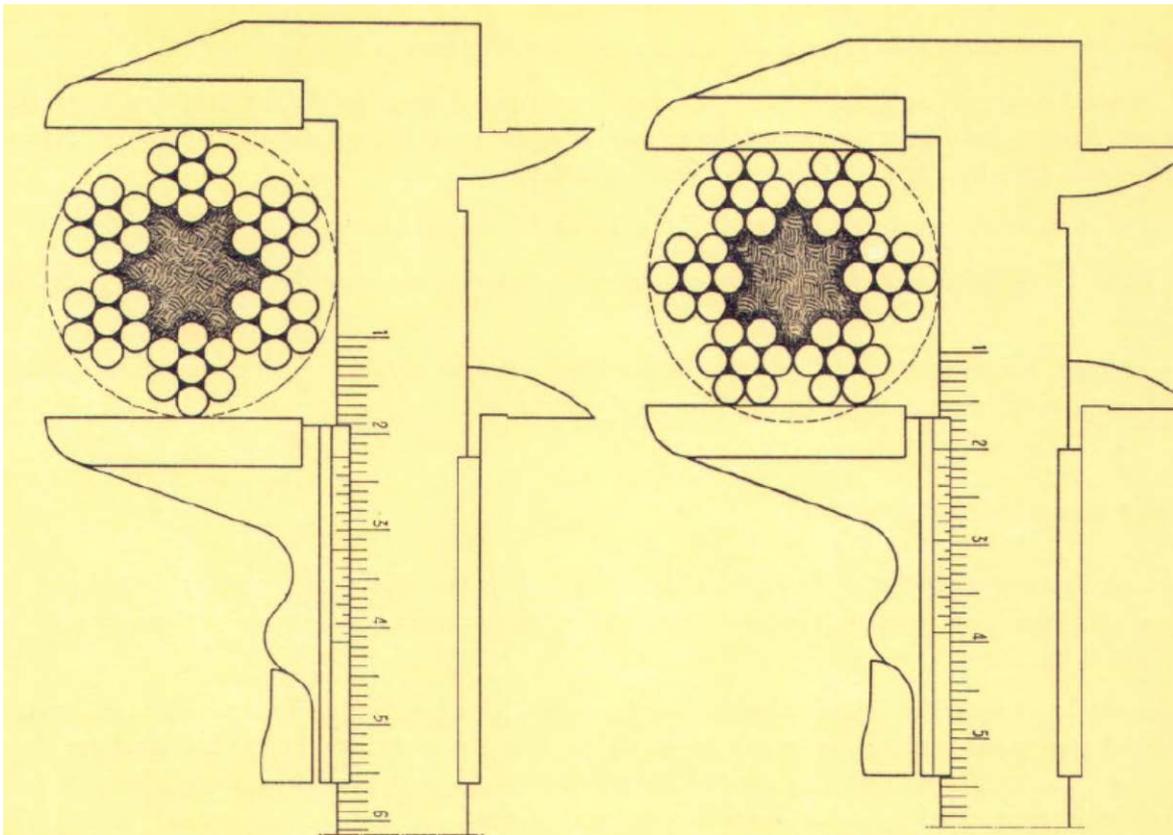


Ilustración 56 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

Al hablar del diámetro de un cable ha de diferenciarse entre diámetro teórico, diámetro comercial y diámetro real.

Por diámetro teórico de un cordón o de un cable se entiende el valor deducido por operaciones matemáticas, partiendo de los diámetros de los alambres que le constituyen. Un valor aproximado del mismo se obtiene multiplicando el diámetro del alambre o del cordón de la capa exterior del cordón o cable respectivamente, por el coeficiente correspondiente de la siguiente tabla.

Tabla 9 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

N.º de alambres o cordones de la capa exterior	Coefficiente
3	2,15
4	2,41
5	2,70
6	3,00
7	3,30
8	3,61
9	4,15
10	4,41
11	4,70
12	5,00
13	5,30
14	5,65
15	6,15
16	6,41
17	6,70
18	7,00
19	7,30
20	7,61

Los valores de esta tabla sólo son aplicables a los cables y cordones ordinarios. Como diámetro comercial se fija el número entero más próximo al valor del diámetro teórico, expresado en milímetros. A veces los diámetros comerciales se dan de medio en medio milímetro. De cualquier forma éste es el valor que debe figurar para todos los efectos comerciales.

El diámetro real es el resultado de la medición práctica del cable; se expresa en milímetros.

En los cables se admite normalmente para su diámetro real una tolerancia de + 5 y - 2 % del diámetro teórico.

El alargamiento, que se produce en un cable en servicio, lleva emparejada una disminución de diámetro.

Todo lo anterior se refiere al cable fabricado antes de entrar en servicio.

- **LA COMPOSICIÓN. SU NOTACIÓN:**

Para definir de manera precisa la composición de un cable hay que señalar el número y disposición de sus cordones, el número, características y disposición de los alambres de los cordones y el número y naturaleza de las almas.

Normalmente la designación de un cable se abrevia mediante una notación. Esta notación se expresa escribiendo el número de cordones, separado por un signo X del número que indica los alambres de cada cordón y a continuación un signo + seguido del número de almas textiles del cable, o, si éste es de alma metálica, de la notación del cordón o cable que haga de alma.

Cuando los cordones constituyentes del cable son de un tipo especial, se añade el nombre que diferencia dicho tipo, después de la notación.

Así un cable espiroidal tendrá por notación $1 \times A + 0$, siendo A el número de alambre del cordón. Los cables parcialmente cerrados o cerrados se piden únicamente indicando el diámetro, y en el caso de los cerrados, además el número de capas de alambres en Z.

En los cables de cordones ordinarios la composición se designa por $A \times B + C$, siendo A el número de cordones, B el de alambres de cada cordón y C el número de almas textiles o la composición del alma si es metálica. Por ejemplo:

$6 \times 37 + (7 \times 7 + 0)$ es un cable de 6 cordones de 37 alambres por cordón, con un alma metálica que es un cable de 7 cordones con 7 alambres por cordón. (Fig. 57).

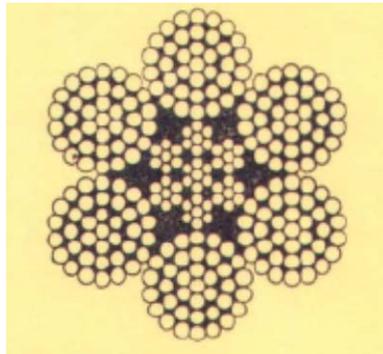


Ilustración 57 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

En los cables de cordones no ordinarios, debe darse, después de la notación normal, el nombre del tipo a que pertenece; así $6 \times 25 + 1$ Relleno, $8 \times 19 + 1$ Seale, etc.

La notación de los cables guardines consta del número de ramales, por la composición de cada ramal encerrada en un paréntesis, más el número de almas. Así el cable $6 \times (6 \times 19 + 1) + 1$ consta de un alma textil sobre la que arrollan 6 ramales, cada uno de ellos formado por 6 cordones de 19 alambres, cordones que a su vez están arrollados sobre un alma textil.

La notación de los cables planos, se hace indicando el número de ramales por la composición de éstos.

La de un cable plano de 3 ramales, cada uno de ellos formado por 4 cordones de 6 alambres y un alma textil por cordón y trenzados a su vez los 4 cordones sobre un alma textil, es 8 (4 x 6 + 5).

Las características de todos estos cables se han expuesto anteriormente

- **LA RESISTENCIA DEL ALAMBRE:**

La calidad o resistencia del alambre a la tracción, expresada en Kgf./mm², depende fundamentalmente del contenido en carbono del acero y del proceso de trefilado. Para un mismo diámetro de alambre, con la resistencia a la tracción aumentan la dureza y la resistencia al desgaste, pero, pasados ciertos límites que dependen del diámetro del alambre, disminuyen su resistencia a la flexión y a la torsión.

Las calidades o resistencias tipo de nuestra fabricación normal de alambres para cables son las siguientes:

Tabla 10 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

alambre gris			
Acero suave		Acero duro y semiduro	
Diámetro en mm.	Resistencia en kg/mm²	Diámetro en mm.	Resistencia en kg/mm²
De 2,10 y más	50/79	De 0,20 a 8,00	140/159 (1)
De 1,05 a 2,00	60/89	De 0,20 a 6,00	160/179 (1)
De 0,55 a 1,05	70/99	De 0,20 a 4,50	180/199 (1)
De 0,20 a 0,50	80/109	De 0,20 a 3,00	200/219 (1)
		De 0,20 a 1,90	220 y más (1)

Tabla 11 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

alambre galvanizado					
Galvanizado corriente		Galvanizado reforzado		Galvanizado sobre recocido	
Diámetro en mm.	Resistencia en kg/mm ²	Diámetro en mm.	Resistencia en kg/mm ²	Diámetro en mm.	Resistencia en kg/mm ²
De 0,20 a 5,00	140/159 (1)	De 0,20 a 5,00	125/156	De 1,40 a 5,00	35/50
De 0,20 a 4,00	160/179 (1)	De 0,20 a 4,00	140/171		
De 0,20 a 2,80	180/199 (1)	De 0,20 a 2,80	160/190		
De 0,20 a 2,00	200/219 (1)				
De 0,20 a 1,00	220 y más (1)				

No obstante se hacen contra pedido alambres de los distintos diámetros con otros límites de resistencia.

(1) En los alambres con diámetro menor de 0,60 mm. la resistencia mínima es la indicada en los cuadros, pero la máxima admisible es superior en 10 Kg. a la allí indicada.

- **LA PROTECCIÓN DEL ALAMBRE:**

Para la mayoría de los usos, los mejores resultados se obtienen con alambre gris, protegido contra la corrosión por un adecuado engrase. Pero cuando especiales condiciones del medio de trabajo pueden dar lugar a una fuerte oxidación o corrosión, como sucede con los cables empleados en pesca marina o instalaciones industriales con atmósferas muy activas o cuando la causa de destrucción del cable es exclusivamente la oxidación, como en los cables estáticos que trabajan a la intemperie, deben emplearse alambres galvanizados.

La galvanización consiste en el recubrimiento del alambre gris con una capa protectora de cinc; puede hacerse mediante inmersión en baño de cinc fundido o por procedimiento electrolítico.

Según el grado de actividad del medio ambiente de trabajo, el alambre requerirá un galvanizado normal o reforzado, cuyas características de peso por unidad de superficie para los alambres de nuestra fabricación normal se dan en la figura 20. No obstante aceptamos pliegos de condiciones fijando distintas características de galvanizado.

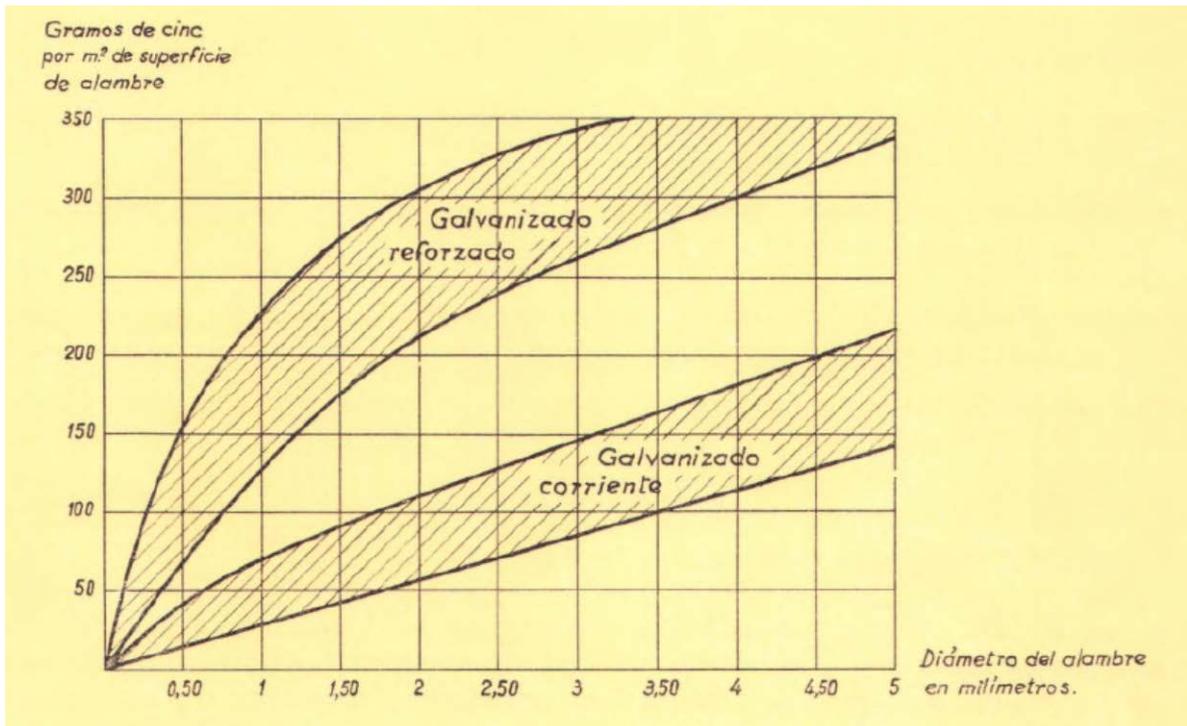


Ilustración 58 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

- **LA TORSIÓN:**

En los cables es preciso fijar el sentido de arrollamiento de los alambres en los cordones y de los cordones en el cable.

Se dice que un cable o un cordón son de torsión a derecha cuando los cordones en el cable o los alambres en el cordón respectivamente, están trenzados en hélice que avanza en el sentido de las agujas de un reloj.

Cuando el sentido de la hélice es el contrario se denomina de torsión a izquierda. Se dice que un cable es de torsión ordinaria o cruzada cuando el arrollamiento de los cordones en el cable es a distinta mano que el de los alambres en el cordón, teniendo todos los cordones el mismo sentido de arrollamiento.

Un cable es de torsión “Lang” cuando el arrollamiento de los cordones en el cable es a la misma mano que el de los alambres en el cordón.

Un cable de torsión ordinaria a derecha, es el que tiene sus cordones cableados a derecha; cuando están cableados en el otro sentido se dice que es de torsión ordinaria a izquierda.

Los cables de arrollamiento cruzado presentan los alambres en el exterior del cable sensiblemente paralelos al eje del mismo.

En los cables de torsión Lang, los alambres superficiales forman un ángulo de unos 30° con el eje del cable.

Respecto a los de torsión Lang, los cables de torsión cruzada, presentan las siguientes diferencias:

- Ventajas:
 - Son de más fácil manipulación
 - Tienen menor tendencia a girar tanto descargados como bajo carga
 - Tienen mejor comportamiento a los esfuerzos transversales.

- Inconvenientes:
 - Tienen menor resistencia al desgaste por rozamiento, pues, sus alambres apoyan sobre las superficies de arrollamiento en menor longitud.
 - Cuando el resto de las características son iguales, son más rígidos que los Lang y por tanto dan peor resultado cuando trabajan a la flexión.

Existe un tercer tipo de arrollamiento, conocido con los nombres de Herringbone, de espina de pez o alternado, en el que la torsión de los alambres de los cordones es en unos a derecha y en otros a izquierda.

Los cables con este tipo de arrollamiento presentan propiedades intermedias entre los cruzados y los Lang.

- **PRE-FORMADO Y POST-FORMADO DE CABLES Y CORDONES:**

En el proceso normal de fabricación de cables, los alambres, tanto en el cordoneado como en el cerrado, se someten a unos esfuerzos para acomodarles a la posición en que han de quedar en los cordones y en el cable. Estos esfuerzos dan lugar a unas deformaciones permanentes y otras elásticas, y como consecuencia de éstas últimas, quedan con unas tensiones residuales. Estas tensiones fatigan el metal, con lo que restan vida al cable, son causa de una mayor rigidez, v. cuando un extremo del cable queda suelto, hacen que los cordones y alambres se destrencen.

Mediante procedimientos especiales de preformado, post-formado y tratamiento térmico hoy día se han conseguido eliminar estas tensiones residuales, obteniéndose los cables llamados "muertos de tensión".

Estos cables presentan las siguientes ventajas:

- Una mayor duración a la fatiga de esfuerzos combinados de tracción y flexión
- Un mejor comportamiento respecto a vibraciones y sacudidas.
- Una mayor flexibilidad, por lo que están sometidos a menores esfuerzos de flexión al pasar por poleas, rodillos o tambores.
- Cuando se rompe un alambre, éste permanece, después de roto, en su primitiva posición, no dañando a los alambres contiguos.
- No tienen tendencia a formar cocas ni acaracolarse, lo que unido a que al cortarlos no se destrencan, hacen más fáciles y seguras todas las manipulaciones.
- Estos cables no tienen par de giro, debido a tensiones residuales; es decir, en vacío no tienen tendencia a girar. Pero bajo carga están sometidos al mismo par de giro que otro cable idéntico no preformado. Es más, su utilización en aparatos

de elevación en que la carga no está guiada, es contraindicada. El preformado no confiere a los cables la propiedad de ser anti-giratorios.

- **DIÁMETRO DE LOS ALAMBRES. SECCIÓN METÁLICA:**

Como posteriormente veremos, para determinar el cable adecuado para una instalación, aparte otras características, es necesario conocer la carga de rotura a la tracción y el diámetro de los alambres. En las tablas de las distintas composiciones, se indican el diámetro de alambre a tener en cuenta para hallar la relación con los diámetros de poleas y órganos de arrollamiento, y la sección metálica, que es la suma de las secciones rectas de los alambres que constituyen el cable.

Los alambres se calibran con el máximo rigor, cumpliendo sobradamente las tolerancias usadas en las normas nacionales y extranjeras.

- **PESO DEL CABLE:**

Dada la dificultad de evaluar a priori el peso total de un cable, influenciado por la variabilidad del engrase los valores que normalmente se dan no pueden pasar de ser orientativos.

Los pesos indicados en las tablas están garantizados con una tolerancia de + 5 %.

Se puede calcular el peso en kilogramos de un metro de cable mediante la fórmula “ $P = S \times K$ ” en que “P” es el peso en kilogramos, “S” la sección metálica del cable en centímetros cuadrados y “K” un coeficiente variable según el tipo de cable. En la tabla adjunta se dan los valores de “K”.

Tabla 12 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

TIPO DEL CABLE	Valor de K.
De 3, 4, 5 y 6 cordones con alma central textil	0,930
De 6 y 8 cordones con alma central mixta	0,930
De seis cordones con alma central metálica	0,900 a 0,930
Antigiratorios	0,930
De cordones triangulares	0,920
Cables espiroidales	0,850
Cables guardines	1,000 a 1,030
De 6 cordones con almas secundarias textiles además de la central textil	0,980 a 1,150

- **LA CARGA DE ROTURA A LA TRACCIÓN DE LOS CABLES:**

La carga de rotura a la tracción de un cable, el coeficiente de seguridad y la carga a la tracción que ha de soportar en su trabajo, son las tres cantidades con que normalmente se juega en los cálculos de resistencia de los cables.

Pero diversas circunstancias, de orden teórico y de orden práctico, hacen que respecto de los cables, se manejen diversos valores, relacionados con los esfuerzos de tracción, a todos los cuales se conoce de forma genérica por "carga de rotura a la tracción".

4.4.4 CABLES Y CABOS PARA BUQUES

Los cables de alambres de acero son tradicionales e imprescindibles para una variada gama de aplicaciones marineras, empleándose distintos tipos según las diferentes condiciones del trabajo que han de realizar. Pero en todos los casos los cables han de ser de alambre galvanizado, condición necesaria dado el ambiente corrosivo al que se han de ver expuestos. [28]

Además de ser auxiliares para otros fines menos específicos, como pueden ser para los momentos de la botadura de los buques, para unir solidariamente las anguilas al casco, los cables en el mundo naval e utilizan principalmente en jarcia firme y jarcia de labor. [122]

Estos cables utilizados en las maniobras típicamente marineras de remolque y atraque han de reunir las condiciones de una gran resistencia a la tracción y a la corrosión y buena flexibilidad y alargamiento. Las composiciones más adecuadas son:

- Como amarras:

Tabla 13 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

Diámetro del cable en mm.	Tipo del cable
De 8 a 30	6 x 12 + 7
De 15 a 40	6 x 24 + 7
De 25 en adelante	6 x 37 + 1 Ordinario

Estos cables deben ser preformados, de torsión ordinaria y con alambre galvanizado de resistencia no menor de 140 Kg./mm².

- Como remolques:

Tabla 14 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

Diámetro del cable en mm.	Tipo del cable
De 8 a 20	6 x 19 + 1 Ordinario
De 15 a 30	6 x 24 + 7
De 25 a 40	6 x 37 + 1 Ordinario
De 35 en adelante	6 x 54 + 7

Estos cables deben ser preformados, de torsión ordinaria y con alambre galvanizado de resistencia no menor de 140 Kg./mm². De ellos, así como de los de amarras, el Lloyd's Register of Shipping tiene fijadas las especificaciones a las que se deben ajustar los cables. [54]

4.4.5 APLICACIONES

El número de los diferentes tipos de cable que se pueden obtener variando dentro de límites razonables el número y la disposición de los alambres en cada cordón y de los cordones y almas en el cable, es elevadísimo.

Pero la experiencia ha sancionado un número relativamente reducido de composiciones, con las que se puede resolver a plena satisfacción la casi totalidad de los problemas de cables.

En consecuencia, se han seleccionado una serie de tipos de cables, cuyo número es lo más reducido posible, pero que no deja desatendido ningún caso normal que pueda presentarse.

Seguidamente se va a indicar el significado y hacer algunas observaciones de los distintos términos que figuran en las tablas de cables.

- Composición:

Define el tipo del cable y es el número y disposición de los alambres en los cordones y de los cordones y almas, textiles o metálicas en el cable.

Para designar la composición de un cable hay que precisar el número de sus cordones, el número y disposición de los alambres de cada uno de aquéllos y el número y naturaleza de las almas. Normalmente esta designación se abrevia mediante una notación que consiste en escribir el número de cordones separados por el signo “x”, del n.º de alambres de cada uno de los cordones y a continuación después del signo “+”, el número de almas textiles. Así “6 x 19 + 1” es la notación de un cable de 6 cordones con 19 alambres por cordón y con un alma textil. En el encabezamiento de cada tabla se indica a la izquierda la notación de la composición del cable y, a la derecha, se especifica el número de cordones, el

número de alambres de las capas que componen cada cordón empezando por el centro del mismo, y el número y naturaleza de las almas del cable; si el cable es de alma metálica se indica la composición del cordón o cable que hace de alma.

- Diámetro teórico:

Es el deducido matemáticamente a partir del diámetro de los alambres. Nuestros cables tienen el diámetro real igual al teórico con tolerancias de - 1 y + 4 % respecto a éste último.

- Diámetro comercial:

Es el número entero en milímetros más próximo al diámetro teórico, excepto en los cables menores de 6 milímetros, que varían de medio en medio milímetro. Es el que debe consignarse en los pedidos.

Aunque en nuestras tablas no hemos figurado más que los diámetros de más corriente utilización, estamos en condiciones de hacer cables con cualquiera de los diámetros intermedios no incluidos en ellas.

- Diámetro del alambre:

Es el diámetro del alambre más grueso de los que componen las capas de los cordones del cable. Este valor debe utilizarse para hallar la razón entre el diámetro de poleas y tambores y el diámetro del alambre.

- Sección metálica:

Es la suma de las secciones rectas de todos los alambres que constituyen el cable. Su conocimiento es imprescindible para obtener la carga de rotura calculada de un cable y los esfuerzos unitarios del metal en un trabajo determinado.

- Peso aproximado:

Indica el peso por metro del cable con una tolerancia del 5 % en más o en menos. Ello es debido a que la grasa contenida en alambres y alma puede variar en proporciones muy considerables dentro de un perfecto engrase del cable.

- Resistencia del alambre:

Es la resistencia unitaria a la rotura por tracción. Con ella varía la carga de rotura del cable.

En los cuadros adjuntos se indican los límites máximo y mínimo del diámetro de alambres normalizados para cada resistencia.

Tabla 15 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

alambre gris			
Acero suave		Acero duro y semiduro	
Diámetro en mm.	Resistencia en kg/mm²	Diámetro en mm.	Resistencia en kg/mm²
De 2,10 y más	50/79	De 0,20 a 8,00	140/159 (1)
De 1,05 a 2,00	60/89	De 0,20 a 6,00	160/179 (1)
De 0,55 a 1,05	70/99	De 0,20 a 4,50	180/199 (1)
De 0,20 a 0,50	80/109	De 0,20 a 3,00	200/219 (1)
		De 0,20 a 1,90	220 y más (1)

Tabla 16 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

alambre galvanizado					
Galvanizado corriente		Galvanizado reforzado		Galvanizado sobre recocido	
Diámetro en mm.	Resistencia en kg/mm²	Diámetro en mm.	Resistencia en kg/mm²	Diámetro en mm.	Resistencia en kg/mm²
De 0,20 a 5,00	140/159 (1)	De 0,20 a 5,00	125/155	De 1,40 a 5,00	35/50
De 0,20 a 4,00	160/179 (1)	De 0,20 a 4,00	140/170		
De 0,20 a 2,80	180/199 (1)	De 0,20 a 2,80	160/190		
De 0,20 a 2,00	200/219 (1)				
De 0,20 a 1,00	220 y más (1)				

(1) En los alambres con diámetro menor de 0,60 mm la resistencia mínima es la indicada en los cuadros, pero la máxima admisible es superior en 10 kg a la allí indicada.

Aunque contra pedido se hacen cables con cualquiera de los alambres arriba indicados, e incluso con alambres de otras características cumpliendo las

especificaciones de los pliegos de condiciones de los clientes cuando así lo encargan, en las tablas sólo figuran las resistencias 140/159 kgf/mm², 160/179 kgf/mm² y 180/199 kgf/mm², expresadas por su límite inferior. Estas son las calidades de alambre más ampliamente empleadas por dar a los cables un conjunto de propiedades mecánicas muy equilibrado.

- Carga de rotura calculada:

Es un concepto puramente teórico referente a la rotura a la tracción del cable. Se define como el valor que resulta de sumar los productos de la sección recta de cada alambre constituyente del cable por el valor límite mínimo de su resistencia prescrita. Normalmente es mayor que la carga de rotura real del cable.

- Carga de rotura garantizada:

Es el valor que resulta de deducir de la carga de rotura calculada el valor límite admisible de las pérdidas de cableado. El cable, después de fabricado tiene una carga de rotura real menor que la suma de las cargas de rotura reales de todos sus alambres y a la diferencia entre estos dos valores, variable según la composición, se denomina "pérdidas de cableado". Para cada composición hay un valor límite que no puede ser sobrepasado por las pérdidas de cableado si la fabricación es correcta. Si de la carga de rotura calculada restamos este valor "límite de pérdidas de cableado" el valor resultante ha de ser menor que la carga de rotura real del cable. Por ello se garantiza dicho valor como límite inferior de la carga de rotura real de los cables.

En los cálculos debe siempre emplearse como valor de la carga de rotura de un cable, la garantizada. Si se utiliza la calculada puede suceder que la carga real sea inferior hasta en un 25 % al valor tomado para el cálculo y en consecuencia el coeficiente real de trabajo será un 25 % menor que el coeficiente que se adoptó para determinar el cable.

- Cables con alma metálica:

Aunque sólo figuran las tablas de algunas composiciones con alma metálica de cordón o cable, se fabrican todas las composiciones de cables con alma metálica. Los valores aproximados de peso por metro y carga de rotura garantizada de un tipo de cable con alma metálica se obtienen de los correspondientes del mismo cable con alma textil incrementados en un 10 y un 9,5 % respectivamente.

- Cables normalizados:

En las tablas que se adjuntan se destacan con negrita el diámetro y la carga de rotura de una serie de cables, que por su importancia se fabrican en grandes series y que están en stock de existencias. Cualquiera de ellos será servido contra pedido o a lo sumo en un plazo mucho más breve que para cualquier otro tipo de cable.

4.4.6 CONDICIONES DE TRABAJO DE LOS CABLES

El problema de someter a cálculo el trabajo de un cable no es tan fácil como a primera vista pudiera suponerse. Por una parte la determinación de los esfuerzos que actúan sobre un cable durante su trabajo, en especial si éste es dinámico, por su variabilidad y difícil observación, presenta serias dificultades y sólo un

minucioso y experimentado estudio de las condiciones particulares de cada trabajo puede hacernos conocer los datos de partida del problema.

Además, y en ello radica la mayor dificultad, la compleja estructura de los cables no permite conocer su comportamiento frente a los distintos esfuerzos de una forma tan simple como con otros elementos constructivos en resistencia de materiales.

Así, esfuerzos de tracción y flexión, por citar sólo los más importantes ejercidos sobre el conjunto cable durante su trabajo, se transforman en virtud de la estructura del mismo cable en otros esfuerzos elementales sobre los alambres constituyentes.

Estos últimos esfuerzos se componen con otros, derivados de las tensiones internas del metal, dando por resultado tensiones y compresiones longitudinales, flexiones primarias y secundarias, torsiones y compresiones transversales o radiales en los alambres. Reviste, pues, gran dificultad establecer las relaciones que ligan los esfuerzos sobre el cable con los que soportan los alambres y mucho más aún conocer cómo estos últimos se componen para dar el esfuerzo total o carga de trabajo del material.

El problema es tan complejo, que sólo una especialización y una dilatada experiencia permiten llegar a dominarle con garantía de éxito práctico.

- **CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TRABAJO DE LOS CABLES:**

La variadísima gama de aplicaciones de los cables es causa de que los esfuerzos a que se ven sometidos los cables sean muy diferentes; así mientras un cable riostra sólo ha de soportar esfuerzos estáticos de tracción, un cable de una grúa se ve solicitado por esfuerzos estáticos y dinámicos, esfuerzos de flexión, esfuerzos debidos a la rigidez del cable, sacudidas, oscilaciones y giro.

Pero el procedimiento normal de cálculo consiste en tener en cuenta exclusivamente la carga de tracción multiplicada por un coeficiente de seguridad suficientemente amplio, variable según el modo de utilización del cable y el tipo de la instalación, de forma que con dicho coeficiente se cubran el resto de los esfuerzos no calculados que puedan actuar sobre el cable. Ello representa admitir a priori que esos esfuerzos van a tener un valor no superior a un determinado límite para todas las instalaciones de un mismo tipo y similares condiciones de trabajo; pero a veces en casos particulares, alguno de esos esfuerzos alcanza un valor tan elevado que hace insuficiente el coeficiente de seguridad normalmente empleado.

En tales casos es necesario conocer el conjunto de las sollicitaciones a que ha de verse sometido el cable a fin de que la carga total no sobrepase el límite de fatiga del metal y mucho menos su límite elástico.

- **ESFUERZOS ESTÁTICOS DE TRACCIÓN:**

La carga estática de tracción se define como el esfuerzo vertical que es preciso ejercer para soportar un peso.

El valor unitario viene dado por la fórmula:

$$\sigma = P/S \text{ Kgf/mm}^2$$

Siendo “P” el peso a soportar en Kgf. y “S” la sección metálica del cable en mm.

- **ESFUERZOS DINÁMICOS DE TRACCIÓN:**

Debidos a la aceleración o deceleración, son los que se desarrollan en los arranques o paradas para conseguir que la carga, desde el estado de reposo alcance la velocidad de régimen o desde la velocidad de régimen pase a velocidad cero.

Su valor es:

$$\sigma_d = \sigma_e \cdot \gamma/g \text{ Kgf/mm}^2$$

Siendo “ σ_e ” el esfuerzo estático en Kgf./mm.² la “ γ ” aceleración en m/ seg.² y “g” la aceleración de la gravedad, 9,81 m/ seg.².

En las instalaciones en que la velocidad de régimen no sobrepasa los 2 m/seg en vez de calcular el esfuerzo dinámico se atribuye a éste un valor del 10 % del esfuerzo estático de tracción.

- **ESFUERZOS DE FLEXIÓN:**

Se producen en el cable cuando éste se ve sometido a una curvatura al pasar por poleas, rodillos u órganos de arrollamiento.

Cuando un alambre de diámetro “d”, se aplica sobre un elemento de sección circular de diámetro “D” las fibras “a b” y “c f” tienen distinta longitud y su alargamiento o acortamiento es:

$$\frac{\pi (D + d) - \pi D}{2} = \frac{\pi d}{2}$$

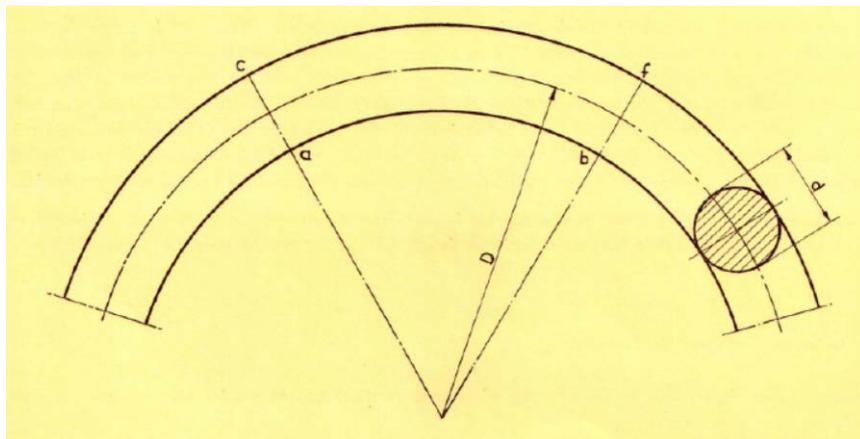


Ilustración 59 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

- **SACUDIDAS:**

Es frecuente en la práctica que en algunas instalaciones y en algunos tipos de trabajo los cables sufran sacudidas, ya sea de forma accidental y muy poco frecuente, ya sea de forma habitual. Este último caso se da normalmente en palas excavadoras y cargadoras, scrapers, dragalinas, planos inclinados, etc.

Aunque es muy difícil, si no imposible determinar en estos casos cuál va a ser el esfuerzo a que va a ser sometido el cable en estas sacudidas, vamos seguidamente a ver cuál es el valor máximo que pueden alcanzar sin dañar el cable.

- **EL DESGASTE:**

Está originado por la fricción, consecuencia del deslizamiento del cable sobre superficies fijas o móviles. Las consecuencias inmediatas son: disminución de la sección metálica y alteración de la superficie del alambre, que disminuye su resistencia a la fatiga y favorece la corrosión y la oxidación.

Los medios para combatir el desgaste por fricción son:

- El perfecto estado de los órganos en que apoya el cable cuidando su engrase y el buen estado de su superficie.
- Evitar la marcha con bruscas variaciones de velocidad.
- Limitar la presión del cable sobre las gargantas de poleas, roldanas y rodillos.
- Aumentar la superficie real de apoyo del cable, empleando la torsión Lang, si no hay otras causas que lo hagan desaconsejable, y composiciones de gran superficie exterior y alambres exteriores del mayor diámetro posible.

- **LAS ENTALLAS:**

Como consecuencia de las presiones transversales en poleas y tambores, de los golpes bruscos contra elementos de la instalación o de otros accidentes los alambres del cable pueden sufrir entallas que son puntos de debilidad de su resistencia.

Cuando un alambre entallado se somete a un esfuerzo de tracción se provocan en la sección entallada una tensión longitudinal “ σ_c ” una tangencial “ σ_t ” y una radial, “ σ_r ”, todas positivas (Fig. 24).

Los valores de estas tensiones engendran una tensión efectiva a o que varía como indica la curva correspondiente.

El pequeño valor de “ σ ”, en “e” no motiva deformación del metal en dicho punto, lo que origina que el metal del fondo de la entalla, comprendido entre “f y e” se halle en un estado de sollicitación muy crítica, dando lugar a un principio de rotura. Este principio de rotura se produce según una grieta radial que, por ser mucho más aguda que la misma entalla agrava los efectos de ésta, provocando su rápida progresión hasta la rotura total.

Las roturas de alambre en un cable, además de disminuir la resistencia en ese punto por ser menor la sección metálica, entrañan el peligro de que las puntas causen nuevos defectos de entalla o raspaduras en los alambres próximos.

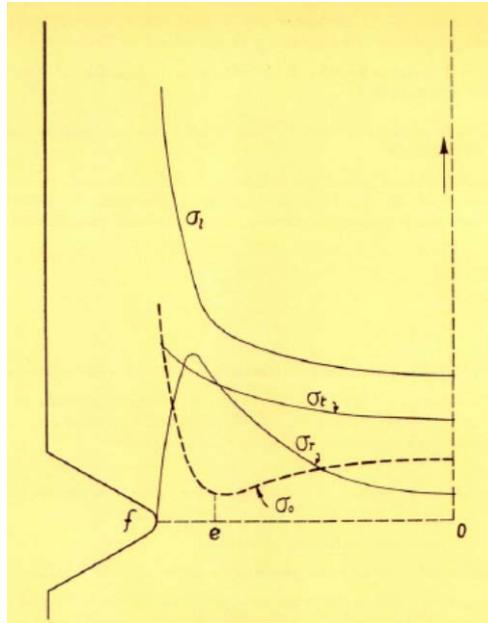


Ilustración 60 (Fuente: Nueva Montaña Quijano S.A.)

4.4.7 CABOS DE FIBRA

Como ya sabemos, las cuerdas empleadas a bordo de los buques, fabricadas con materiales textiles o sintéticos, se denominan cabos, que según su grueso constan de dos, tres o cuatro cordones. El cabo puede ser alquitranado o blanco. El alquitranado es para que dure más y lo que gana en vida lo pierde en resistencia. [35]

La primera operación que hay que hacer para elaborar un cabo, es unir un puñado de fibras, vegetales o sintéticas, y retorcerlas sobre sí mismas. A este retorcimiento se le denomina colchado, que, según se efectúe de izquierda a derecha o de derecha a izquierda, se le da el nombre de colcha a la derecha o a la izquierda. La operación del colchado tiene por objeto aumentar la elasticidad del cabo. Pero tiene el inconveniente de debilitar la resistencia originaria de las fibras. La pérdida experimentada en la resistencia de éstas es cuando menos un tercio. Para la obtención de las filásticas se efectúa el colchado de las fibras de izquierda a derecha. El hilado de las filásticas debe ser igual en toda su longitud, tanto en su grueso como en su colcha. [10]



Ilustración 61: Hilado de filásticas

Los cordones están constituidos éstos por varias filásticas colchadas de derecha a izquierda y todos han de tener el mismo número de filásticas. [107]



Ilustración 62: Cordones

La guindaleza está formada por 3 ó 4 cordones colchados de izquierda a derecha. Cuando está formada por cuatro cordones, lleva además un cordón interior colchado al revés llamado **alma**, que no aumenta la resistencia del cabo.

El objeto del alma es ocupar el espacio interior que dejan los cuatro cordones, evitando así que la guindaleza se aplane y deforme. Guindaleza son la mayoría de los cabos que se encuentran a bordo de los buques.

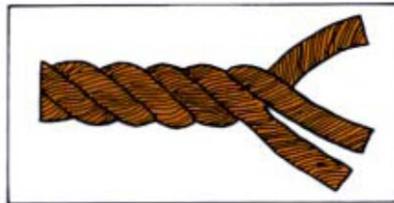


Ilustración 63: Guindaleza

El calabrote está formado por tres o cuatro guindalezas colchadas a la izquierda. Los calabrotos se utilizan tradicionalmente como cabos de amarre de gran resistencia en arsenales y muelles. La mena de los calabrotos varía entre 70 y 337 milímetros. Los de mayor mena toman el nombre de cables. Actualmente se vienen denominando como “cocos”.

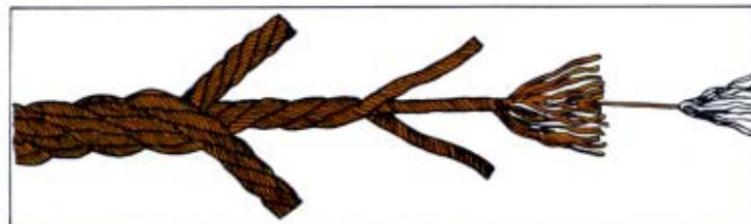


Ilustración 64: Calabrote

Actualmente la mayoría de los cabos que se utilizan a bordo son de fibras sintéticas. La elaboración de estos se hace como los de fibra vegetal.

En comparación con las amarras de abacá, son más resistentes, duran más, ocupan menos espacio, no embeben el agua, pueden estibarse mojadas y son más fáciles de manejar.

Entre las fibras sintéticas, el nylon es la más resistente de poco peso y mucha resistencia a los elementos y ácidos.

El polipropileno, es una fibra sintética de no excesiva resistencia cuya principal característica es su densidad. Al ser más ligera que el agua flota. Por dicha razón es de especial utilidad para estachas y sobre todo remolques. Al flotar reduce la posibilidad de que se enrede en las hélices.

Los cabos de nylon tienen una cualidad que a veces es un inconveniente, que consiste en que al ser sometidos a una carga, se estiran. Un alargamiento de un 30% es normal en este cabo sin que sufra. Otro inconveniente del nylon es que es muy escurridizo. Al amarrar un cabo de nylon bajo tensión a una bita o cornamusa, habrá que dar más vueltas que a una de abacá pues de lo contrario, se puede zafar.

Los cabos colchados tienen facilidad para liarse, coger vueltas o cocas. Para evitar esto se utilizan cabos elaborados mediante tejido o trenzado.

También existen cabos de escasa mena, fabricados mediante tejido de filásticas, denominados cabos de beta tejida.

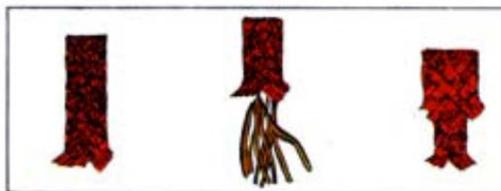


Ilustración 65: Beta tejida

Refiriéndonos de nuevo a la guindaleza, se puede asegurar que se trata de un cabo que tiene una mena entre 116 mm y 250 mm y una longitud mínima de 185 metros y que, en el lenguaje mariner, se conoce con el nombre de estacha.

La guindaleza o estacha puede estar formada por tres o cuatro cordones colchados de derecha a izquierda o, si se desea evitar la formación de cocas, por ocho cordones trenzados, cuatro con colcha a la izquierda y cuatro a la derecha, trenzados por pares. A este último tipo de colchado se le denomina “squareline”.

Los cabos colchados son más flexibles que los torcidos y tienen mayor duración, ya que presentan una superficie mayor al desgaste por abrasión.

Las estacas de polipropileno pueden fabricarse con fibra-film, fibras monofilamento o multifilamento. Todas tienen idénticas características en cuanto a peso específico, punto de fusión y absorción de agua, y presentan pequeñas diferencias en la carga mínima de rotura. La fibra-film se caracteriza por tener mayor resistencia a la abrasión y menor elasticidad. Para conseguir una mayor duración, los tres tipos deben someterse a un tratamiento antisolar.

Las guindalezas de polipropileno acumulan electricidad estática que, en algunos casos (buques tanque de material inflamable y otros), pueden representar un riesgo y, por este motivo, las estachas pueden utilizarse con unos dispositivos adecuados para descargar este tipo de electricidad.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

A menudo se utilizan estachas de fibra-film por tener mayor resistencia a la abrasión y menor elasticidad (si la estacha se estira por acción de una fuerza o resistencia y, al cesar ésta, recobra su longitud primitiva, resultará muy peligrosa para el personal que la maneja en caso de rotura, ya que actuará como un látigo).

En la actualidad las guindalezas de polipropileno tienen el siguiente uso:

- **Guindaleza de polipropileno de 119 mm de mena.-** Estacha de uso general para maniobra de amarre en buques inferiores a 800 t en rosca. Sustituye a la guindaleza de abacá de 126 mm
- **Guindaleza de polipropileno de 143 mm de mena.-** Estacha de uso general para maniobra de amarre en buques de 800 t a 5 000 t en rosca. Estacha de refuerzo para buques inferiores a 800 t en rosca. Sustituye a la guindaleza de abacá de 157 mm de mena.
- **Guindaleza de polipropileno de 177 mm de mena.-** Estacha de uso general para maniobra de amarre en buques de 5 000 t a 10 000 t en rosca. Estacha de refuerzo para buques de 800 t a 5 000 t en rosca. Sustituye a la guindaleza de abacá de 204 mm de mena.
- **Guindaleza de polipropileno de 225 mm de mena.-** Estacha de uso general para maniobra de amarre en buques superiores a 10 000 t en rosca. Estacha de refuerzo para buques de 5 000 t a 10 000 t en rosca. Sustituye a la guindaleza de abacá de 251 mm de mena.
- **Guindaleza de polipropileno de 270 mm de mena.-** Estacha de refuerzo para buques superiores a 10 000 t en rosca. Sustituye a la guindaleza de abacá de 298 mm de mena.

4.4.7.1 DATOS , MEDIDAS Y TOLERANCIAS DEL POLIPROPILENO

El polipropileno es una fibra sintética que se consigue mediante un proceso de polimerización del propileno que se obtiene por “cracking” completo del petróleo. El polipropileno se caracteriza por ser inalterable a la acción de los ácidos, grasas y álcalis y además es imputrescible. Se distingue del resto de las fibras sintéticas por tener un peso específico menor que la unidad, por lo que flotará en el agua. También su combustión despiden un olor característico.

Tabla 17: Datos de los materiales

Tipo de guindaleza	Textura	Acabado	Corte seccional. Fibra unitaria
Multifilamento	Suave y sedoso	Brillante	Circular
Monofilamento	Tieso como cerda	Superficie lisa	Circular
Rafia (fibra-film)	Áspero como paja	Superficie lisa	Plana

Tipo de guindaleza	Peso específico (Kg/dm ³)	Punto de fusión (°C)	Tenacidad (gf/tex)
Multifilamento	0,91	165	Aprox. 54
Monofilamento	0,91	165	Aprox. 45
Rafia (fibra-film)	0,91	165	Aprox. 40,5

- DENSIDAD LINEAL Y CARGA DE ROTURA DE LOS CABOS Y GUINDALEZAS DE POLIPROPILENO:

Tabla 18: Densidad y carga

Mena (in-mm)	Diámetro (mm)	Densidad lineal (kg/m)	Carga de rotura (kgf)
4 ³ / ₄ - 119	38	0,650	14 100
5 ³ / ₄ - 143	46	0,950	20 500
7 - 177	56	1,490	28 700
9 - 225	77	2,410	46 900
10 ³ / ₄ - 270	86	3,360	66 300

Las tolerancias admitidas en la carga de rotura y peso de la guindaleza será de \pm 5%.

- FACTOR DE SEGURIDAD:

Es el factor por el que se divide la carga de rotura de una guindaleza para determinar su carga de trabajo. Este valor se aplica en función de las necesidades de trabajo. Se suele considerar que el factor de seguridad de las guindalezas de polipropileno es seis (6), es decir, la carga máxima de trabajo de seguridad a que puede someterse una guindaleza deberá ser del 16,7% de su carga de rotura.

- INALTERABILIDAD A LA LUZ SOLAR:

La resistencia del polipropileno a la luz ultravioleta de los rayos solares es baja y, para corregir este defecto, se le añaden pigmentos compuestos de óxido férrico que actúan como agente estabilizador.

4.4.7.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL POLIPROPILENO

- RESISTENCIA A LA ABRASIÓN:

Es la oposición que presenta una guindaleza a ser desgastada por un agente abrasivo o por el roce continuo. Las guindalezas o estachas deberán presentar los siguientes valores de resistencia a la abrasión:

Tabla 19: Resistencia

Tipo de guindaleza	Resistencia retenida
Polipropileno fibra-film (rafia)	67%
Polipropileno monofilamento	65%
Polipropileno multifilamento	54%

Se admitirá una tolerancia de \pm 5%.

Como la resistencia de las guindalezas al desgaste externo varía según el tipo y naturaleza de la superficie sobre la que está en contacto, la comprobación de los valores anteriores se efectuará mediante un ensayo en el que únicamente se medirá el desgaste brusco que se origina por el frotamiento en arena seca. [19]

- **FLEXIBILIDAD:**

Es una propiedad del material que permite doblarlo sin que llegue a romper. La flexibilidad de una guindaleza depende del tipo de filamento, de la naturaleza de las fibras, del diámetro de las filásticas y de la construcción de la guindaleza. El valor de la flexibilidad es siempre comparativo. [19]

La flexibilidad de las guindalezas suele ser:

Tabla 20

Tipo de guindaleza	Guindaleza seca	Guindaleza húmeda
Polipropileno multifilamento	Excelente	Excelente
Polipropileno monofilamento	Buena	Buena
Polipropileno rafia	Buena	Buena

- **CAPACIDAD PARA SOPORTAR TENSIONES BRUSCAS:**

La capacidad de las guindalezas de absorber la energía que se produce por las tensiones bruscas a las que pueden estar sometidas en su utilización depende de las siguientes características:

- Resistencia del material y peso de la guindaleza.
- Alargamiento del material y carga de rotura.
- Grado de recuperación del material después de estar sometido a repetidas cargas.
- Limitación de la velocidad de alargamiento (índice de fatiga).

Esta capacidad se expresa en kgf.m/kg por metro por cada kg de peso de la guindaleza. La capacidad de las guindalezas que se suelen utilizar para soportar tensiones bruscas debe ser:

Tabla 21: Estados

Tipo de guindaleza	Estado seco (kgf.m/kg)	Estado húmedo (kgf.m/kg)
Polipropileno multifilamento	9 300	9 300
Polipropileno monofilamento	8 700	8 700
Polipropileno rafia	8 700	8 700

Se admitirá una tolerancia de $\pm 5\%$.

- **RESISTENCIA A LOS NUDOS:**

Es la resistencia que presenta una guindaleza monofilamento, a la que se le ha hecho un nudo sencillo, a los esfuerzos de comprensión y cizalladura. Esta resistencia suele expresarse en gf/tex, como la tenacidad de un monofilamento con un nudo, o en porcentaje de la fuerza de rotura de la guindaleza. Las guindalezas deberán tener las siguientes resistencias a los nudos: [19]

- Polipropileno rafia: 94% de la fuerza de rotura.
- Polipropileno monofilamento: 67% de la fuerza de rotura.
- Polipropileno multifilamento: 52% de la fuerza de rotura.

- RESISTENCIA DE LAS GUINDALEZAS MOJADAS A BAJAS TEMPERATURAS:

Las guindalezas mojadas sometidas a una temperatura de 10 °C deberán mantener las siguientes resistencias a la tracción:

- Polipropileno rafia: Retiene el 88%
- Polipropileno monofilamento: Retiene el 83%
- Polipropileno multifilamento: Retiene el 83%

4.4.7.3 ENSAYOS

- COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN: [19]

Para comprobar la carga de rotura de las guindalezas puede emplearse uno de los siguientes procedimientos:

- Mediante un aparato adecuado se actúa directamente sobre la guindaleza y se obtiene el valor de la carga de rotura.
- Por medio de un dinamómetro de mandíbulas que permita utilizar una longitud mínima útil de probeta de 250 mm sobre máquina. La probeta será una de las filásticas que constituyen uno cualquiera de los ocho cordones que forman la guindaleza.

La carga de rotura de la guindaleza se obtendrá por medio de la siguiente fórmula:

$$CR = fm \times N \times K$$

Siendo:

- CR: La carga de rotura de la guindaleza expresada en kgf.
- fm: La carga de rotura de la filástica (en kgf) que se obtiene en el dinamómetro.
- N: El número de filásticas que tiene la guindaleza.
- K: Un coeficiente que depende de las características físicas de la guindaleza.

El valor del coeficiente K es característico del polipropileno y es independiente del tipo de guindaleza (rafia, monofilamento o multifilamento).

El valor de K viene dado por la siguiente tabla:

Tabla 22: Valores de “K”

Mena (en mm)	Diámetro (en mm)	K
119	38	0,9515
143	46	0,9320
177	56	0,9133
225	72	0,8933
270	86	0,8842

- COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA GUINDALEZA A LA ABRASIÓN: [19]

El ensayo se efectuará según el dispositivo que se indica en la Ilustración 64. Se realizarán 2000 frotamientos sobre la arena seca con un periodo de 18 pasadas por minuto y un recorrido de abrasión de 450 mm (18 in).

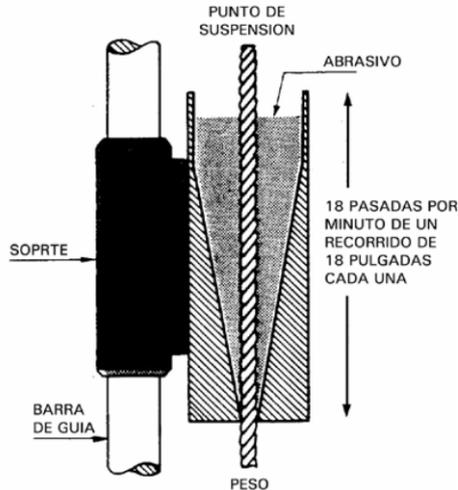


Ilustración 66: (Cedex, 1990)

- DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE FATIGA:

Cuando se aplica una fuerza determinada en uno de los extremos de una guindaleza, ésta aumentará su longitud, es decir, sufrirá un alargamiento.

Si es la primera vez que a una guindaleza se le aplica una fuerza o carga, el alargamiento que sufrirá será proporcional, en cierto grado, a la magnitud de dicha fuerza o carga. El diagrama de la Ilustración 65 indica el porcentaje de alargamiento que adquirirá una guindaleza en función de la fuerza o carga que se le aplique.

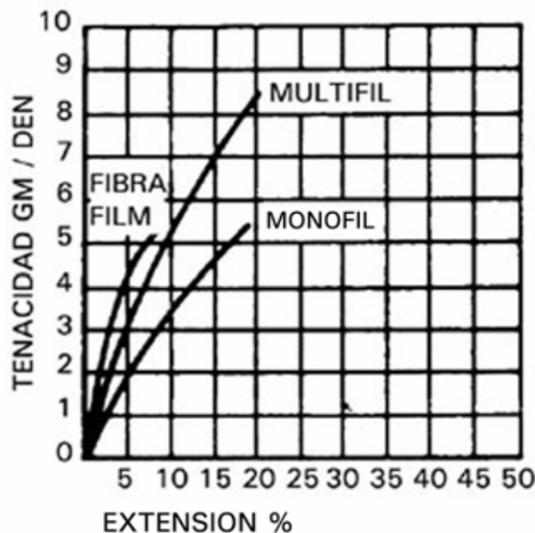


Ilustración 67

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

Si una guindaleza sostiene un peso o carga durante un tiempo largo, sufrirá un alargamiento que irá siendo progresivamente mayor con el aumento del peso hasta que alcanza el último alargamiento y la guindaleza se rompe. Este fenómeno deslizante se conoce con el nombre de “CREEP”.

Si a una guindaleza se le aplican pesos equivalentes al 25%, 50% y 75% de su resistencia teórica de rotura, deberá aguantar sin romperse un mínimo de 10 días.

- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA DEBIDO A TENSIONES BRUSCAS SUCESIVAS: [19]

Para este ensayo se tomarán muestras de 250 mm de longitud de los distintos tipos de guindalezas y se las someterá a la acción de unas cargas o choques, de valor al 75% de su resistencia teórica de rotura, que se desplazarán a una velocidad de 15 cm por minuto.

Para medir la fatiga se someterá cada muestra a una serie de choques sucesivos, hasta un máximo de 120, y se medirá el alargamiento que sufrirá después de los choques números 5, 10, 20, 80 y 120.

Los tres tipos de fibra deberán resistir, sin que se observen fallos, los 120 choques y deberán presentar una recuperación relativamente baja.

- Determinación de la resistencia a flexiones repetidas:

Para este ensayo se utilizará el equipo que se indica en la Ilustración 66. Dicho equipo consiste en tres poleas de 150 mm de diámetro fabricadas de material de poco peso con objeto de reducir la inercia y la fuerza de impulsión. Las poleas deberán estar situadas de forma que las curvaturas de la guindaleza, al pasar por ellas, sean de 30°, -60° y -30°.

La guindaleza sometida a ensayo se suspenderá verticalmente y se someterá a una carga de 250 kgf de forma que, en un recorrido de 500 mm, el número de pasadas por minuto sea 25.

La prueba se realizará con la guindaleza seca y a continuación con ella húmeda.

Deberá cumplirse que, en los tres tipos de fibra, el número de pasadas para romper la guindaleza deberá ser:

- En seco: 7672
- Húmeda: 8158

Se admitirá una tolerancia en estos valores de $\pm 5\%$.

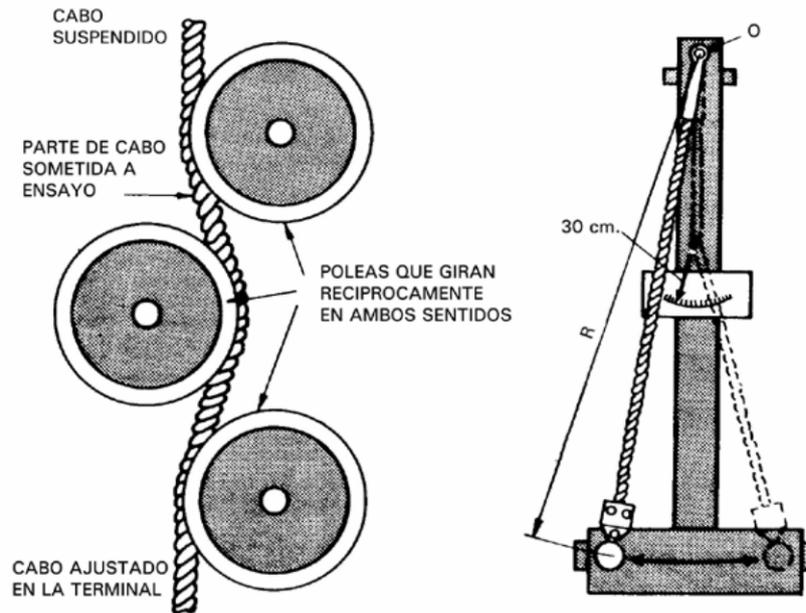


Ilustración 68

- COMPROBACIÓN DE LA FLEXIBILIDAD:

Para comprobar esta característica se utilizará la máquina de péndulo que se indica en la Ilustración 66. El ensayo consistirá en hacer un péndulo con la guindaleza sometida a prueba y para ello se fijará en el punto “0” de la máquina. En el otro extremo se colocará una carga y se hará oscilar el conjunto. Los resultados del ensayo son comparativos y si después de un mínimo de 50 oscilaciones no se aprecian deformaciones en la guindaleza, podrá considerarse que su flexibilidad es buena.

- COMPROBACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LAS GUINDALEZAS PARA SOPORTAR TENSIONES BRUSCAS: [19]

Para comprobar esta capacidad se empleará la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad} = \frac{\text{Carga de rotura} \times \text{Alargamiento}}{3 \times \text{Peso guindaleza}}$$

- DETERMINACIÓN DE LA ELASTICIDAD:

La elasticidad es la propiedad que presentan las guindalezas de recobrar su longitud primitiva una vez ha dejado de actuar la fuerza o carga a la que estaba sometida.

Para determinar la elasticidad de una guindaleza se efectuará el ensayo del dinamómetro de mandíbulas.

El alargamiento máximo de la guindaleza antes de llegar a la rotura deberá ser:

- Polipropileno multifilamento: 22% de la longitud original
- Polipropileno monofilamento: 20% de la longitud original
- Polipropileno rafia: 14% de la longitud original

El polipropileno rafia tiene un índice de elasticidad similar al sisal.

- **COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA A LOS NUDOS:**

Para comprobar esta característica se efectuará el ensayo del dinamómetro de mandíbulas.

4.4.7.4 INSPECCIÓN Y RECEPCIÓN

El Inspector efectuará el muestreo y acondicionamiento de las muestras para los ensayos de acuerdo con la norma UNE EN 919:1996. Las muestras se someterán a ensayos y se comprobará que cumplen las características oportunas. A la vista de los resultados, el Inspector determinará si el lote es aceptado, recusado o rechazado.

4.4.7.5 CABO TESTIGO DE MÁXIMO ESTIRAMIENTO PARA ESTACHAS

El cabo testigo sirve para indicar cuando la guindaleza en la que va colocado, ha alcanzado el máximo esfuerzo a que puede ser sometida sin alcanzar riesgos de sufrir daños. Este cabo debe estar fabricado del mismo tipo de fibra sintética que el de la guindaleza en la que va colocado, y será de color blanco. Es simplemente un mero indicador de que la estacha no se ve sometida a un esfuerzo excesivo.

Para las guindalezas de polipropileno el cabo testigo tendrá una mena de un diámetro de 10 mm y una longitud de 120 cm. Irá colocado firme en el extremo de la guindaleza a continuación de la costura de la gaza con una separación entre chicotes de 1 metro.

Para la guindaleza de poliéster el cabo testigo tendrá una mena de un diámetro de 10 mm y una longitud de 118 cm. Irá igualmente colocado firme en el extremo de la guindaleza a continuación de la costura de la gaza con una separación entre chicotes de 1 metro.

4.5 ELEMENTOS QUE COMPONEN LA MANIOBRA DE AMARRE

Entre los diferentes elementos que componen las maniobras de amarre de los buques nos encontramos los siguientes elementos:

- Chigres de amarre con un tambor (cabirón).
- Chigres de amarre con dos tambores.
- Chigres con tambores asociados a los molinetes de anclas.

- Cabrestantes hidráulicos, eléctricos o electro-hidráulicos.
- Carreteles para líneas de amarre.
- Carreteles motorizados para líneas de amarre.
- Carreteles para línea de amarre de respeto
- Carreteles para calabrote de remolque.
- Guías abiertas o cerradas en la proa para maniobra de amarre y remolque.
- Guías con rodillos abiertas o cerradas en los costados.
- Guías abiertas o cerradas en popa.
- Guías abiertas o cerradas para maniobra de amarre y remolque.
- Cáncamos de remolque.
- Bitas simples o dobles.
- Rodillos con pedestal.
- Defensas.
- Norays y bolardos.

A continuación se realizará una breve descripción de los elementos principales:

4.5.1 BITAS

Llamamos bita a un elemento fijo de amarre situado en el buque y al que se ligan los cabos de amarre para sujetar el buque. Las bitas consisten en una base de la que sale un cilindro vertical, con la cabeza achatada de un diámetro mayor al resto del cilindro, para evitar que se salgan los cabos. [123]

Se utilizan para hacer firmes los cabos a la cubierta del buque. Están formadas por una base o polín de donde salen dos cilindros de eje perpendicular a la base o ligeramente inclinados, y en su extremo tienen mayor diámetro para no permitir que se salgan los cabos.

El número de bitas depende del tipo de barco, normalmente 4 sobre cubierta de castillo, y otras 4 en la cta. toldilla. A veces también las hay en cubierta principal. También existen bitas en cruz. Hoy día las bitas se hacen de acero prefabricado y están normalizadas; antes se hacían de hierro fundido; en yates se hacen de acero inoxidable o aleaciones ligeras. [25]

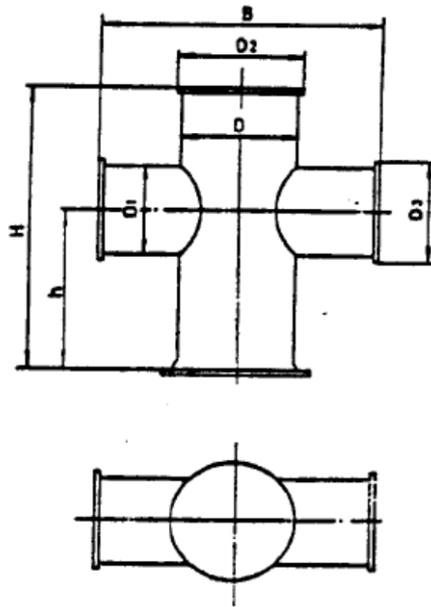


Ilustración 69: Bita en cruz

En este apartado se incluye la descripción de un tipo de bita. Las alturas verticales relativas entre bitas y guías deben ser tales que una estacha a través de una guía pueda quedar aproximadamente paralela con la parte baja de la bita.

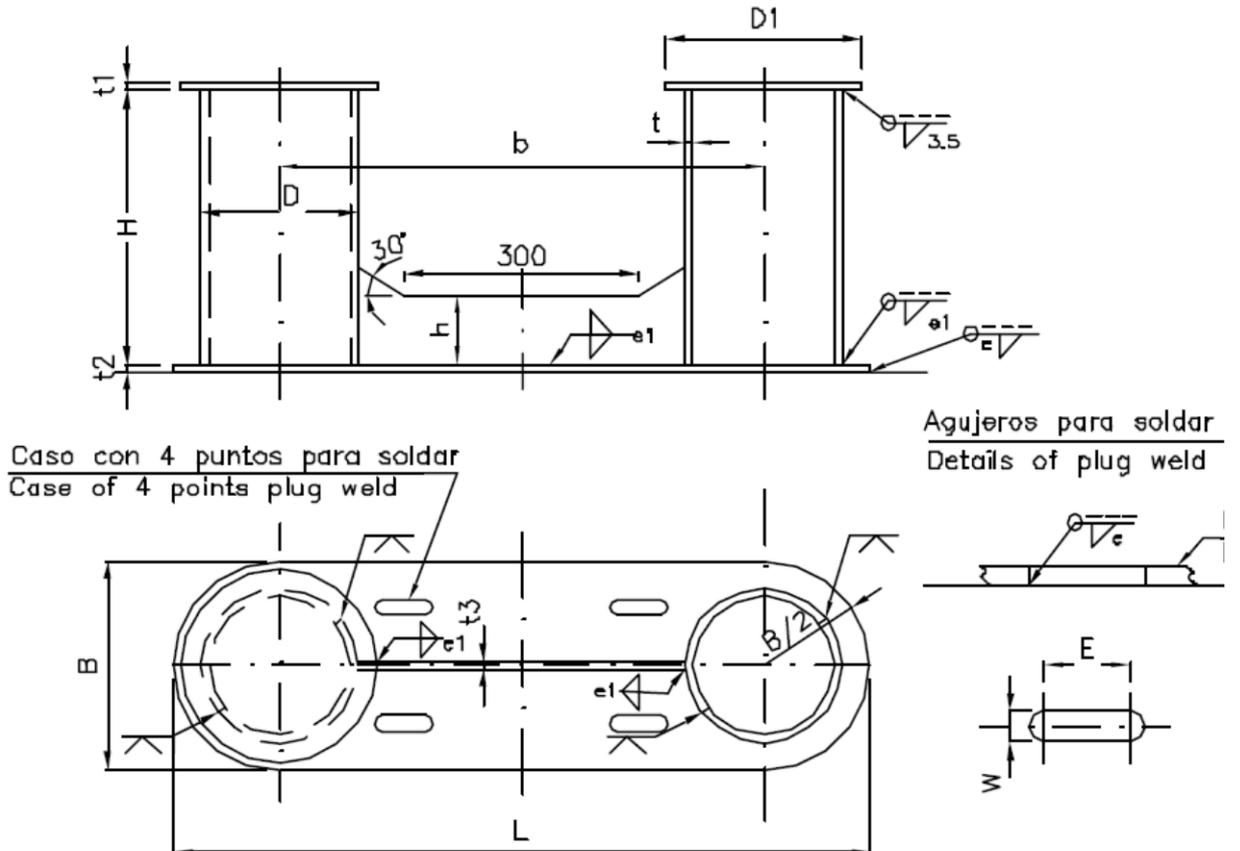


Ilustración 70: Bitas

También hay bitas en forma de cruz y doble cruz. Actualmente las bitas se construyen en chapa, hace años se fundían en acero o hierro. El número y ubicación de las bitas que se deben colocar depende del criterio de cada astillero y de las maniobras que deba realizar el buque; aunque como norma general se suelen colocar 4 bitas en la cubierta castillo de proa y otras tantas en popa. Donde termina el castillo de proa y donde empieza la superestructura también suelen colocarse bitas a cada banda para poder dar esprines. Además sobre la cubierta de intemperie se colocarán el número suficiente de bitas para que no exista una separación entre ellas superior a 35 o 40 metros. Independientemente de las bitas de amarre, en el castillo de proa se colocan dos o tres bitas de remolque y en popa dos bitas más de remolque. Si la cubierta del castillo o la zona de maniobra de popa quedaran muy “ahogadas” se podría suprimir algún juego de las bitas de amarre y emplear para este fin las bitas de remolque. Estas últimas tienen mayores dimensiones que las de amarre, porque tienen que aguantar mayores esfuerzos.

Se recomienda que el número total de bitas colocadas a cada banda del buque y/o el poder total de frenado de los chigres de amarre que sirven un costado del buque, sea no menos de una y media veces la suma de la máxima carga de rotura de los cabos de amarre exigidos o recomendados.



Ilustración 71: Bitas

Los polines de las bitas se sueldan directamente a cubierta, excepto en el caso que la cubierta forme parte de un tanque como es el caso de los petroleros, en cuyo caso se unen a cubierta por medio de una pieza, para evitar posibles filtraciones.

4.5.2 CORNAMUZAS

Son elementos para amarre de cabos que generalmente se colocan sobre la tapa de regala, y de muy variadas formas; también se utilizan para las plumas de carga.

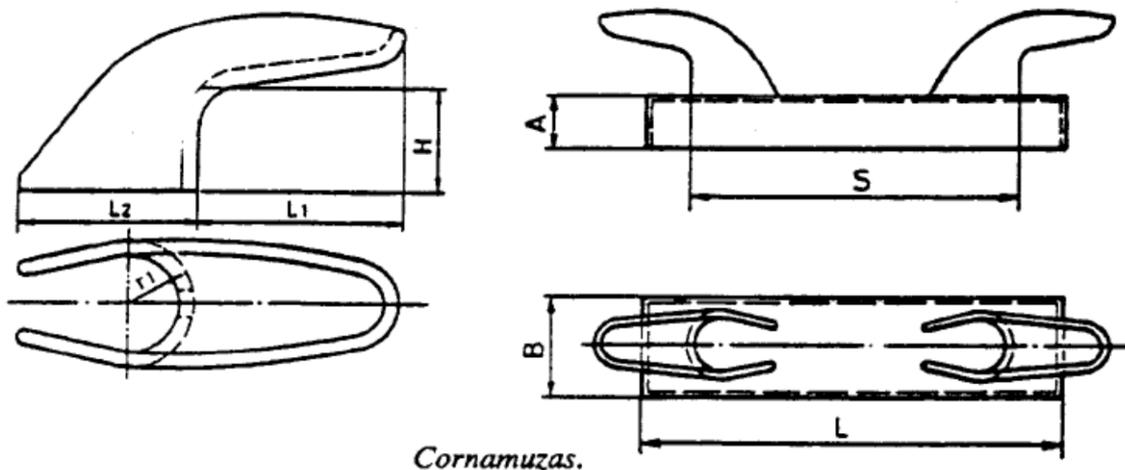


Ilustración 72: Cornamuzas

4.5.3 GUÍAS Y GUÍACABOS (ALAVANTES Y GATERAS DE AMARRE)

Para evitar que cuando los cabos de maniobras son operados desde cabrestantes o cabirones rocen con las amuras, cubiertas, tapas de regala, se colocan los guía-cabos, que sirven de guías.

Los guía-cabos son guía-cabos reforzados, generalmente provistos de rodillos verticales, en número de uno, dos o tres. Van situados a proa, en cubierta castillo a babor y estribor, y se denominan alavantes de proa. También pueden ir en la toldilla, llamándose alavantes de popa.

Los escobenes de costado se fabrican en acero y van soldados sobre polines a cubierta. Se utilizan para el paso de amarras y cables.

Son los elementos fijados a las cubiertas que actúan como guías entre los cabos que se han hecho firme en los norays de los muelles y las bitas de amarre de los mismos a las cubiertas. La gatera de remolque se sitúa a proa o popa en la línea de crujía. Las gateras son de muy diversos tipos y existen gateras de tipo abierto pero sólo se utilizan en pequeñas embarcaciones ya que, al poderse escapar los cabos, originan accidentes.

Las gateras deben de estar fabricadas de tal forma que dañen los cabos lo menor posible. Las gateras se sitúan de formas muy diversas, pero hay veces que se tienen que adaptar, a los reglamentos de canales como las gateras Panamá, necesarias para el paso por dicho canal.

Los alabantes se encargan de evitar que los cabos rocen sobre las cubiertas o tapas de regala cuando estos son manejados mediante los cabirones de los molinetes o cabrestantes, aparte de servir de guía a los cabos para dirigirse a

dichos cabirones. Es común que los alabantes estén provistos de roletes de eje vertical, aunque pueden presentarse sin estos.

Las gateras para amarras son unos orificios practicados en cubierta y amuras del buque para que pasen por ellos cabos y cadenas. En el caso de las gateras de amarre, estas se colocan tanto en proa como en popa, y en la parte central del buque, de manera que sirvan de guía a los cabos de amarre desde los puntos fijos de amarre exteriores al buque (norays), hasta las bitas colocadas en cubierta.

Las gateras de amarre disponen de cantos redondeados a fin de disminuir el esfuerzo cortante que deba soportar el cabo. Según la forma, colocación y posibles accesorios de que disponga, podemos encontrar numerosas clases de gateras, como son los escobenes de costado, guías panama, guías de rodillo, etc...[74]

Nunca deben cobrarse cabos en tensión a través de gateras que carezcan de rodillos, ya que se quemarían los cabos en el roce con la gatera. En caso de utilizar maquinillas con tambores de tensión constante deberán pasarse siempre los cabos a través de gateras con rodillos. [25]

A la hora de colocar las gateras se estudia la reglamentación de los canales de navegación que se pretendan pasar, ya que existen requerimientos por parte de estas entidades sobre el equipo de amarre y remolque.

- **Guías simples:**

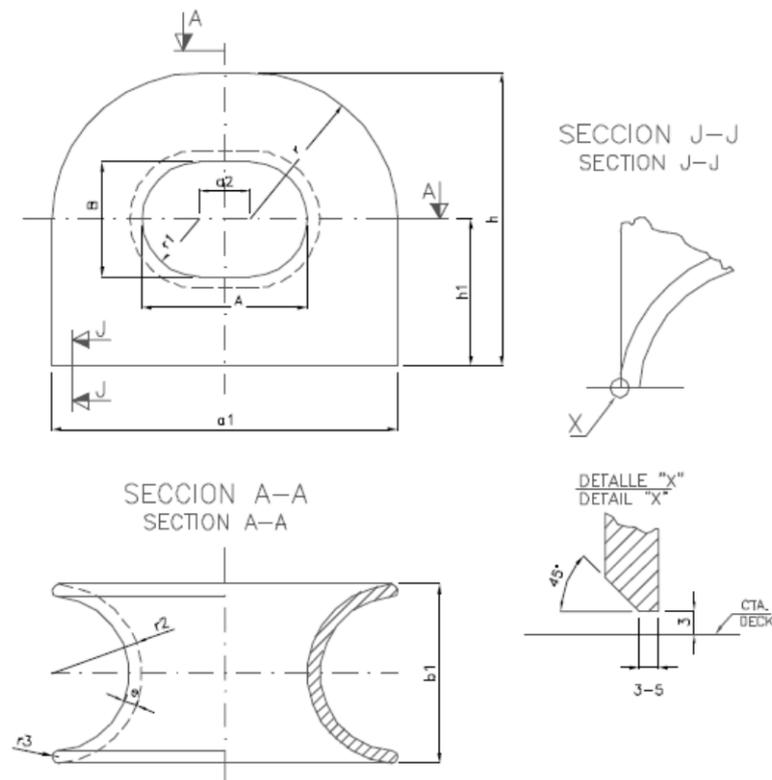


Ilustración 73

- **Guías simples con amurada:**

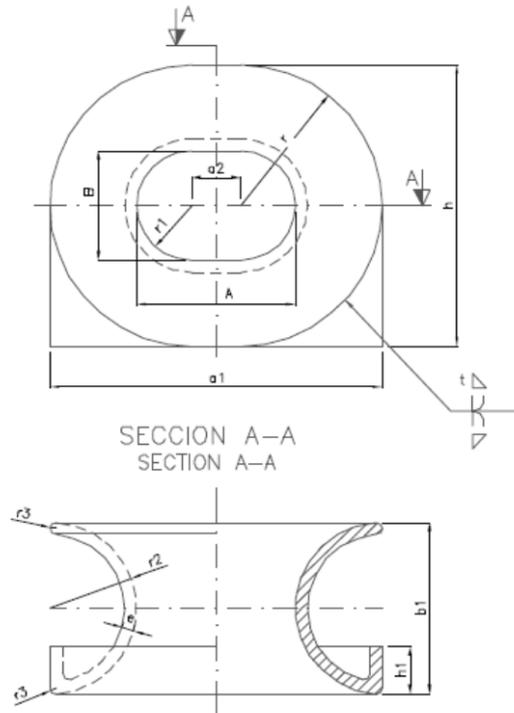


Ilustración 74

- **Guías dobles:**

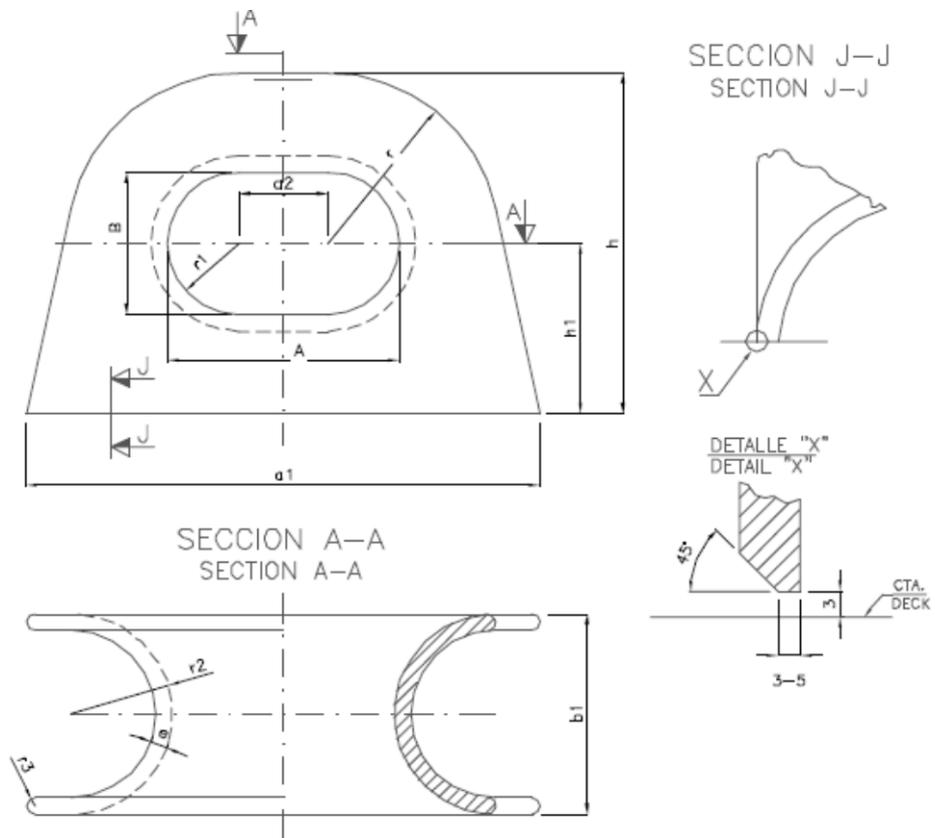


Ilustración 75

4.5.4 CARRETELES

Las estachas de amarre se estiban en los carreteles correspondientes cuando no se encuentran en uso. Pueden existir carreteles motorizados por estacha de amarre a bordo de los buques, y se sitúan en las zonas de proa y popa. Los carreteles correspondientes a las estachas de amarre de reserva se estiban en pañoles.

Se podría considerar que el accionamiento hidráulico de los carreteles de estachas es la mejor solución para su funcionamiento motorizado. En el caso de los carreteles de proa se suele utilizar la propia HPU de los molinetes para los carreteles.

En popa se suele estudiar la utilización de una unidad de potencia conjuntamente con los cabrestantes o chigres. Si éstos últimos son eléctricos, se puede disponer de una pequeña HPU sólo para los carreteles. El dimensionamiento de los carreteles se realiza de forma que la estiba de las estachas no dañe las mismas y que cada carretel sea capaz de estibar la totalidad de la estacha.

La capacidad de estiba de los carreteles (en metros) es la siguiente:

$$Q = (a \times C \times (B + a) \times \pi \times 0.9) / (d^2 \times 10^3)$$

dónde “a”, ”B” y ”C” son las dimensiones del carretel en milímetros, según la figura, y “d” es el diámetro de la estacha (en este caso, 44 mm).

B: Diámetro interior.

A: Diámetro exterior.

a: Diámetro en la zona de estiba.

C: Anchura del carretel.

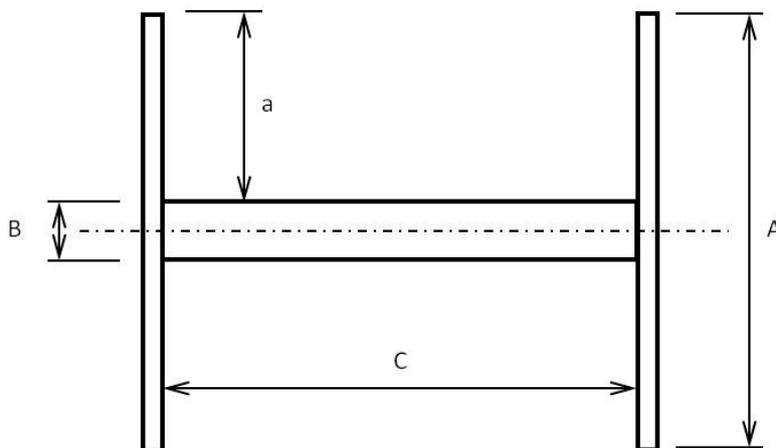


Ilustración 76: Carretel

Todos los carretes motorizados están formados por los siguientes elementos:

- **Tambor de estiba:** De diferentes dimensiones según función. Son todos ellos de acero soldado y disponen en uno de sus extremos de un muñón de apoyo y el opuesto está mecanizado para recibir la brida de un reductor-rueda epicycloidal. La parte fija del reductor se une mediante tornillos a una sileta de apoyo fija y el extremo fijo se conecta a un motor hidráulico de accionamiento alimentado de aceite desde la central hidráulica.

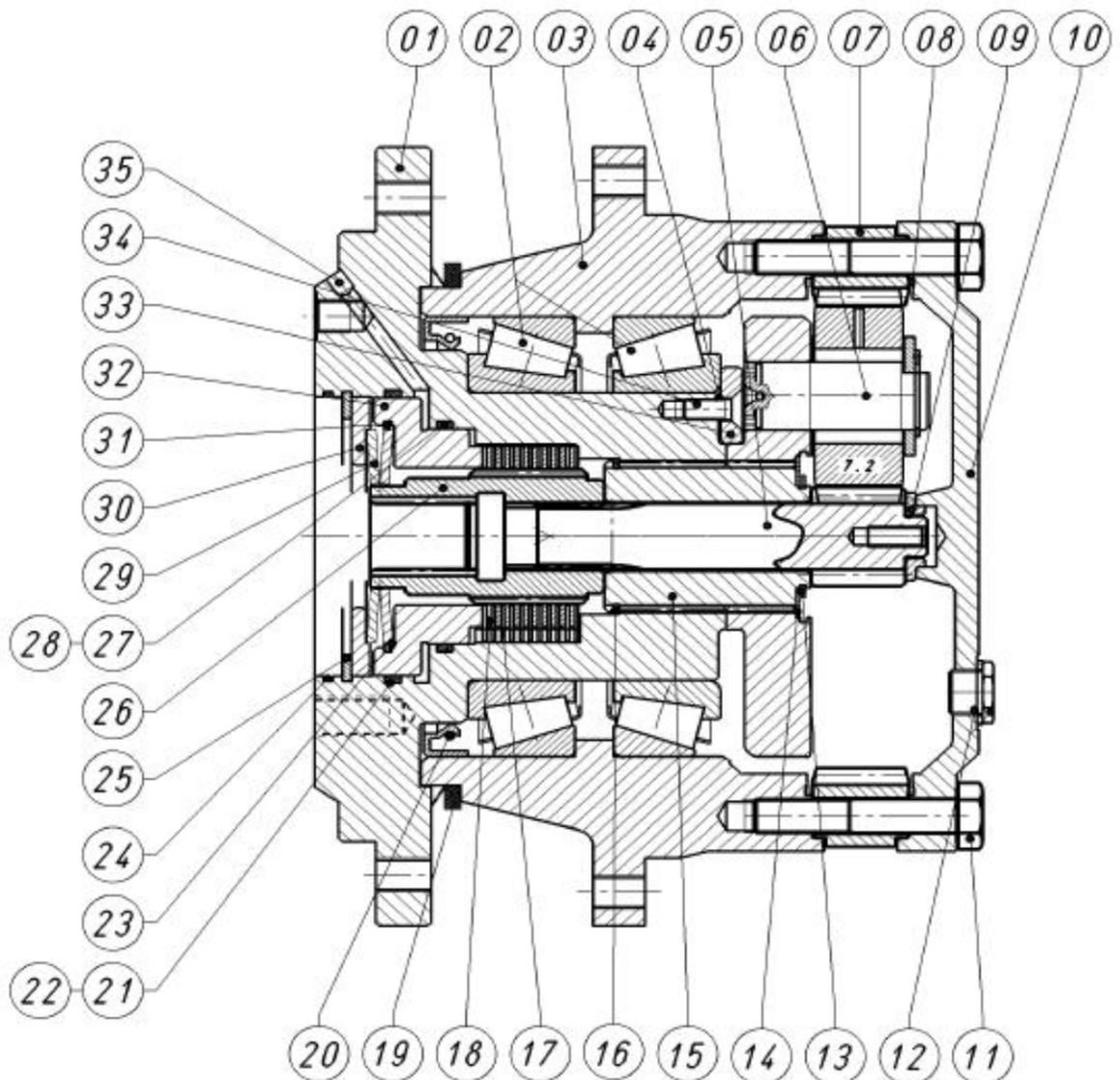


Ilustración 77: Carretel motorizado

- **El reductor-rueda:** se muestra en la figura 77 en donde se muestra la composición interna del elemento con el engranaje epicycloidal centrado por rodamiento de rodillos cónicos y disponiendo en su interior de un dispositivo

de freno de láminas actuado mediante presión para vencer el conjunto de muelles que aseguran un accionamiento automático del freno.

- **El freno:** En el conjunto del reductor rueda se encuentra montado el freno activo formado por las marcas 17 y 18 de la figura que se mantienen en contacto por efecto de las arandelas de muelle 23. La pérdida de contacto entre las láminas de freno se consigue por alimentación de aceite en el pistón marca 32, desde la zona de presión de las líneas principales.
- **El motor hidráulico:** es un motor de engranajes.
- La **unidad de potencia** suministra aceite para alimentación de los motores de los carretes de estiba y está formada por el tanque de aceite construido en acero inoxidable que soporta el grupo motobomba y sirve de base del conjunto apoyado sobre los tornillos de anclaje a la cubierta. El grupo moto- bomba responde a la construcción mostrada en esta figura y está compuesto por un bloque de conexiones 4 al que se aplica el distribuidor de control y a su vez recibe el motor eléctrico 2 acoplado a la bomba 6 mediante un acoplamiento elástico 3. Sobre el bloque 4 se montan el tubo de retorno con filtro de limpieza del circuito.
- Un **armario de maniobra eléctrica:** con los componentes eléctricos para la puesta en marcha y paro del motor eléctrico, así como para recibir señales de los termistores de las fases del bobinado del motor.

El funcionamiento se realiza por accionamiento del motor hidráulico, alimentado hidráulicamente desde la unidad de potencia. Una vez realizadas las conexiones eléctricas entre el motor eléctrico de accionamiento de la bomba y el armarios de maniobra y la seta de emergencia, y conectado el motor de accionamiento hidráulico a la unidad de potencia, está listo para funcionar.

El arranque y paro del motor de arrastre de la bomba se realiza desde los pulsadores situados en la puerta del armario de maniobra.

4.5.5 CABRESTANTES

Es una máquina muy similar a la de subsistema de fondeo, solo que en este caso presenta cabirón en lugar de barboten. El cabrestante permite tirar y tensar un único cabo en cualquier dirección. El cabirón suele presentar unas rebajas en su superficie de modo que aumente el coeficiente de rozamiento entre él y el cabo. [119]

Se construyen de forma que los tambores giren siempre en sentido horario, empleándose dos velocidades mecánicas, que se obtienen mediante el giro de trinquete y engranajes. También hay trinquetes dispuestos en el borde exterior e

inferior del tambor o incluidos en su interior para evitar el retroceso del cabestrante.

Los cabrestantes mecánicos están preparados para girar en ambas direcciones y, en caso de que se incorpore el mecanismo de inversión de marcha, se suprimen los trinquetes. Y aun en el caso de llevarlos irán provistos de unas palomillas que los mantengan en posición elevada.

En el caso del cabrestante eléctrico, el cable tractor está unido al vagón mediante ganchos, y ha de ser arrastrado y arrollado al tambor del cabestrante. Estos cabestrantes se construyen para la velocidad del cable con un solo tambor o para dos velocidades diferentes con doble tambor.

Los cabrestantes (de eje vertical) actualmente están dotados de accionamiento eléctrico, reversible, accionado por motor eléctrico con dos velocidades de giro, y están diseñados para las maniobras de remolque y amarre del buque.

Pueden funcionar en cualquiera de las dos velocidades, en ambos sentidos, desarrollando la tracción indicada en la hoja de características para cada velocidad. Están diseñados para trabajar a la intemperie, situados en las cubiertas de los buques, con el motor eléctrico en el interior del cabirón y la caja de reducción bajo cubierta.

Sus componentes están dimensionados para soportar una carga estática igual a la de rotura de la estacha, aplicada en el punto medio del cabirón y perpendicular a su eje.

Actualmente los cabrestantes son totalmente compactos, incluyendo en el mismo conjunto: el cabirón y su tapa (construidos en acero fundido para resistencia a la intemperie), el motor eléctrico de accionamiento, el freno electromagnético, la caja de reducción y la corona con dentado interior como órgano de conexión del elemento giratorio a la parte fija del conjunto.

El cabrestante actual tipo se compone de los siguientes elementos:

- Un cabirón de acero fundido especialmente diseñado para soportar las cargas previstas sobre la estacha, con capacidad interior suficiente para alojar en su interior el motor-freno eléctrico de accionamiento.
- Un rodamiento con dentado en la corona interior, proporciona la transmisión de esfuerzos, par de vuelco y torsión en funcionamiento, desde la parte fija, carcasa de la caja de reducción, a la móvil, cabirón. Las especiales características de este elemento, así como el ambiente marino en el que debe de trabajar, exigen unas especiales consideraciones de mantenimiento, que deben de asegurar una perfecta lubricación de dientes y bolas de cojinete a través de los engrasadores que se disponen en parte inferior del cabirón y en el suplemento de la zona de soporte.

- Una caja de reducción, de engranajes, transmite la potencia del motor eléctrico al piñón de ataque, a la corona de dentado interior, que proporciona el giro al cabirón. Consiste en una caja cerrada construida en chapa de acero soldado, de rigidez suficiente para recibir los esfuerzos que recibe de los apoyos de los ejes soporte de los trenes de engranaje, que sirve de soporte para el conjunto y se prolonga en la brida de empernado a cubierta.
- Un motor eléctrico de dos velocidades, alojado en el interior del cabirón, con rotor devanado para conseguir dos velocidades de funcionamiento con los requerimientos técnicos exigidos.

- Un freno electromagnético montado sobre el eje del motor, en el extremo superior opuesto al extremo conectado al eje de entrada de la caja de reducción. Está accionado mecánicamente, mediante muelles que mantienen en contacto los discos de fero del freno, y que aseguran el par de frenado. La tensión de estos muelles es contrarrestada por la acción electromagnética, al ser alimentados los electroimanes, a la vez que es alimentado eléctricamente el motor. El freno del motor eléctrico dispone, en la parte superior, de una palanca para el desbloqueo de emergencia.

- Un armario de maniobra eléctrica con los elementos necesarios para arranque directo, protección y alarmas de vigilancia del motor-freno de accionamiento.

- Una consola de mando eléctrico, con una palanca de mando de cinco posiciones (posición neutra y dos para cada sentido de giro del cabirón) y pulsador de parada de emergencia.

- Dos resistencias eléctricas de calefacción, montadas una en el motor eléctrico y la otra en la consola de mando de cubierta, sirven para evitar condensaciones que podrían perjudicar los componentes eléctricos durante los periodos de reposo.

El funcionamiento del cabrestante se realiza por accionamiento del motor eléctrico. Una vez está conectado el cuadro de maniobra eléctrico a la consola y al motor, solamente hay que actuar sobre el selector o pulsadores de la consola de mando.

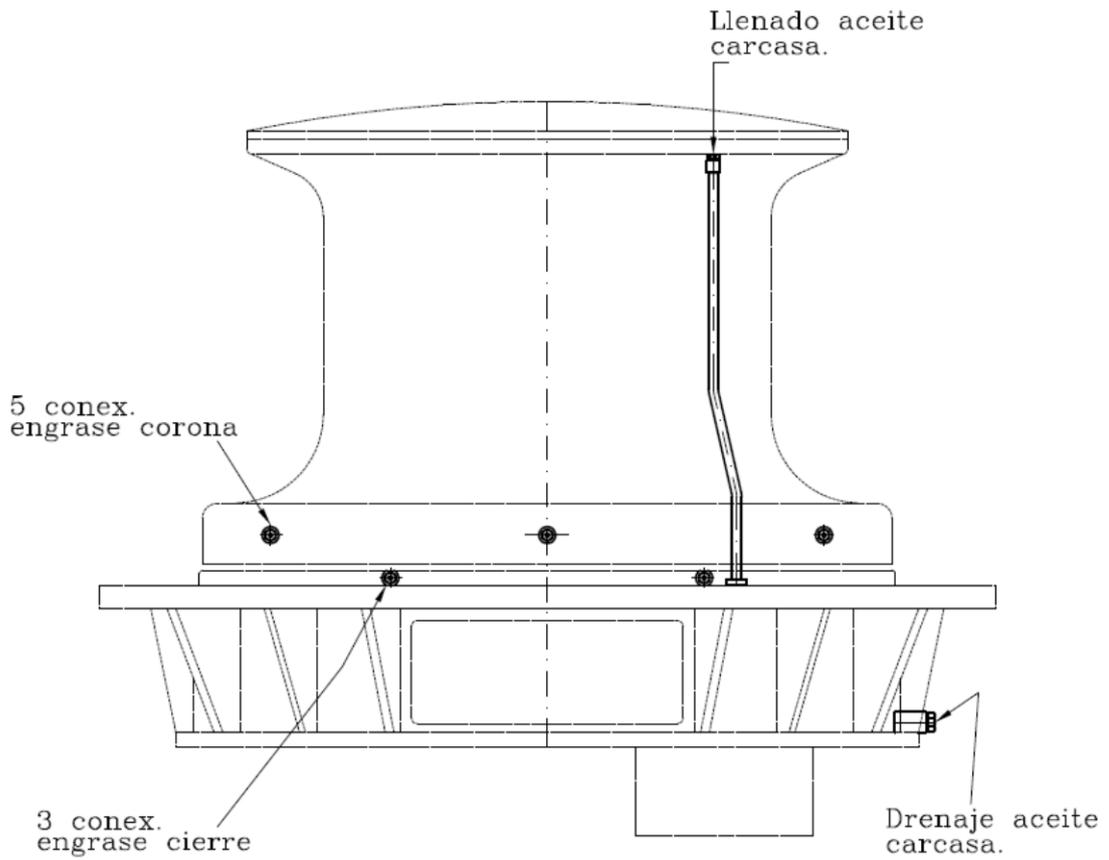


Ilustración 78: Cabrestante

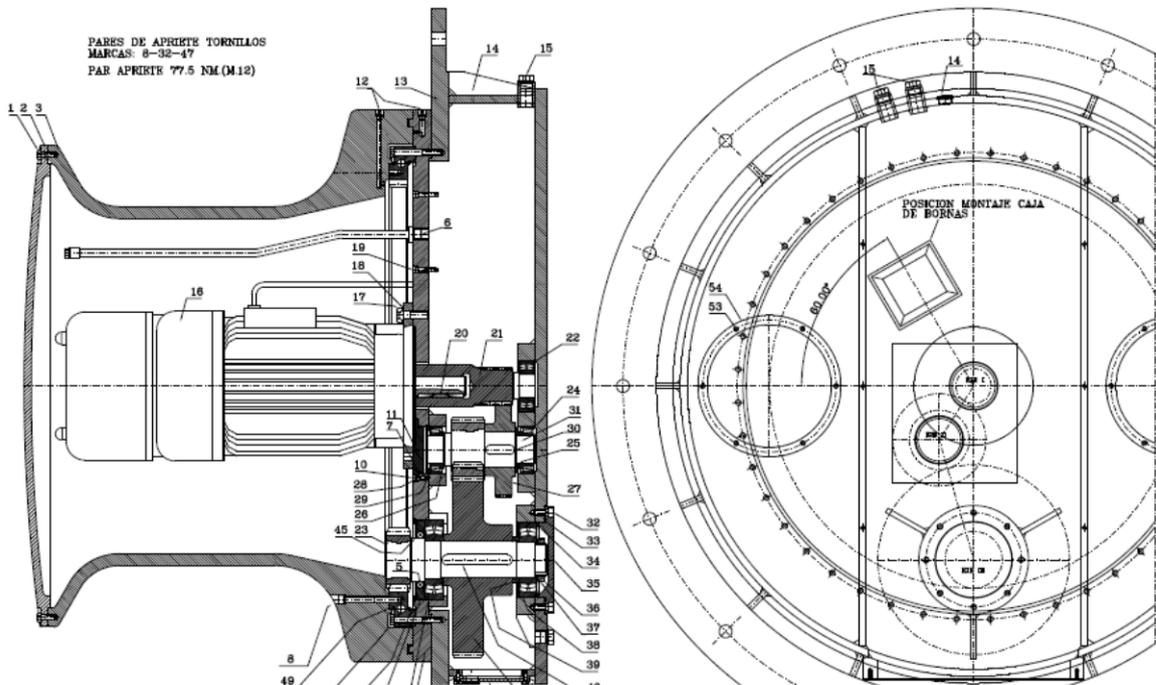


Ilustración 79: Interior cabrestante

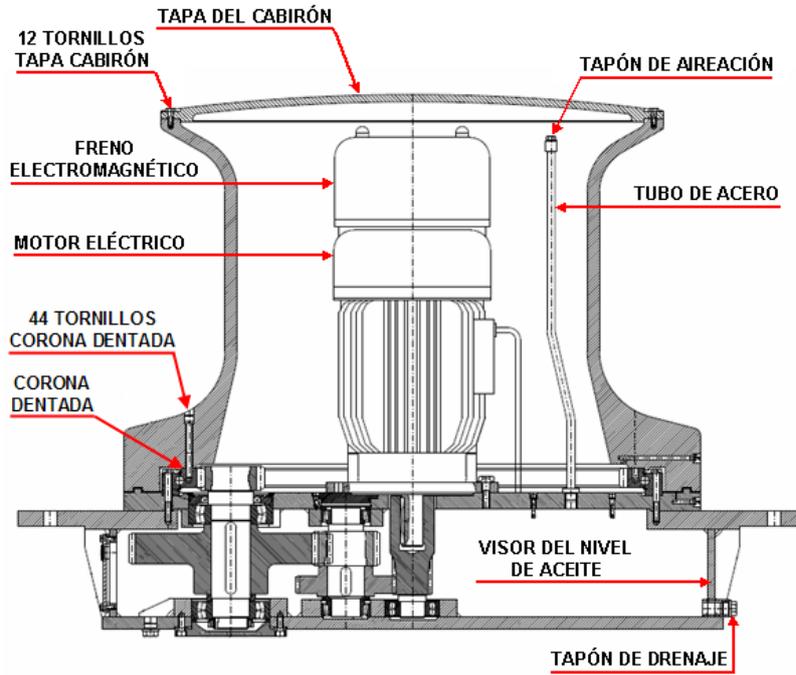


Ilustración 80: Motor cabrestante

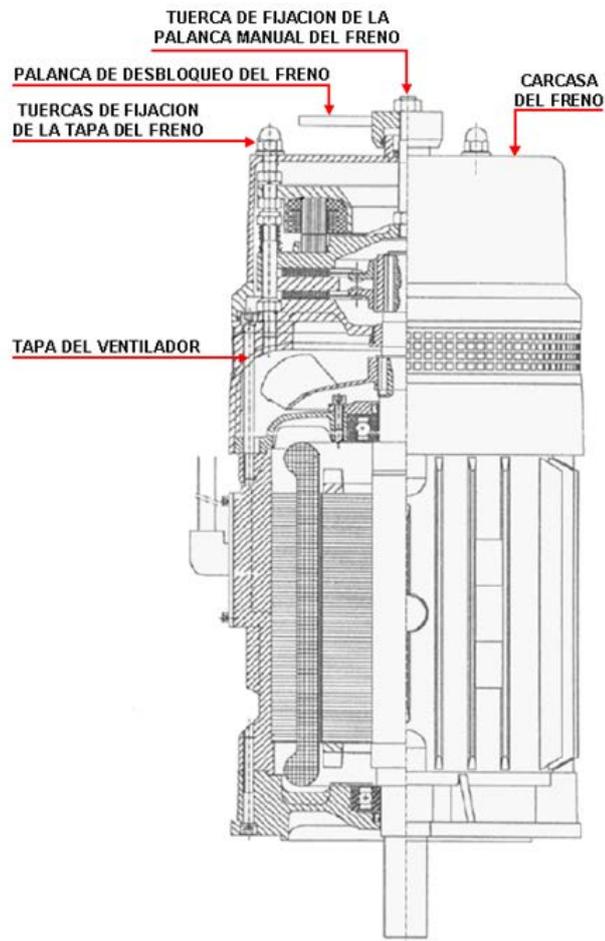


Ilustración 81: Cabrestante

4.5.6 CHIGRES

La maquinilla de amarre puede estar configurada como se describe a continuación: [119]

- Reductora hermética bipartida a base de un tren de engranajes piñón / corona, trabajando en constante baño de aceite por inmersión.
- Accionamiento por motor hidráulico de alto par y baja velocidad, tipo pistones radiales, de dos cilindradas para trabajar a dos velocidades.
- Carreles divididos en zona de tiro y zona de estiba, dotados de frenos de cinta tipo diferencial y embragues de trócola, todos ellos independientes y de accionamiento manual.
- Ejes principales montados sobre rodamientos de rodillos oscilantes.
- Cabirón de acero fundido.
- Conjunto robusto y compacto, debidamente granallado SA 2 ½ y pintado con una mano de antioxidante y dos de pintura marina.

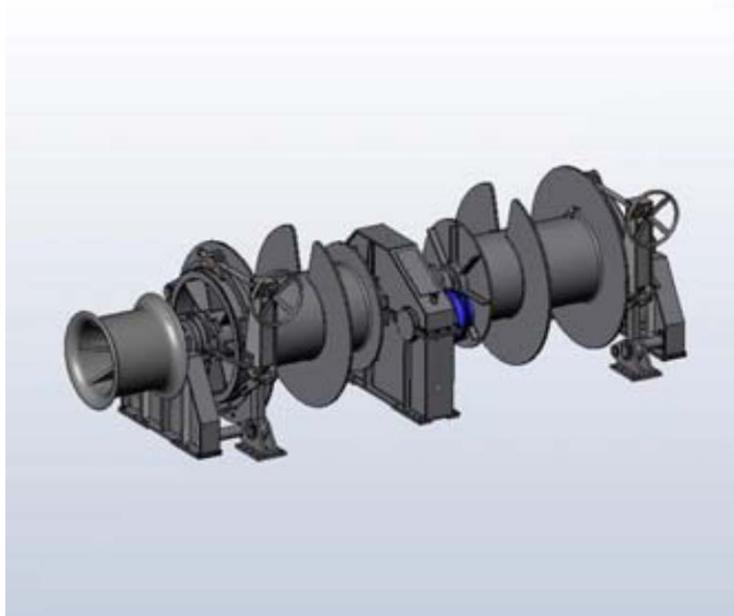


Ilustración 82: Chigre, maquinilla o winche

Algunos barcos están equipados con chigres de tensión constante con la intención de eliminar la necesidad de manejar manualmente la línea. Estos están diseñados para que la tensión de línea especificada pueda ser preestablecida, y el chigre se detiene cuando la tensión en la línea es superior a ese valor, y se recuperarán cuando es menor que ese valor.

Sin embargo, la experiencia ha demostrado que el uso de tales chigres mientras el buque esté junto al muelle no es una práctica segura porque el sistema de retención del chigre se limita a su carga de procesamiento, que es pequeña en comparación con lo que puede contener en el freno. El chigre con el amarre en los extremos opuestos de la nave para trabajar entre sí cuando el buque recibe una fuerza externa causada por el viento o la corriente, o ambas, aplicadas a un extremo, el buque podría moverse a lo largo del muelle. En el sencillo ejemplo

dado en la siguiente figura se muestra un buque amarrado por una línea en cada extremo.

Si el chigre de proa tira demasiado por cualquier motivo (por ejemplo, un cambio en la dirección o la fuerza del viento o la corriente) algún cabo lo sufrirá, la fuerza de tensión en el freno de un chigre siempre es menor que la fuerza que lo suelta y no es posible moverlo hasta que la fuerza externa que lo causó haga que se reduzca. En consecuencia, el barco se moverá a popa un poco y después el amarre comenzará a aflojar. El chigre de popa sufre la fuerza del aflojamiento y la línea se tensa. Si esta perturbación es repetida o continua el buque se movería progresivamente a popa.

Los chigres de amarre no deben dejarse en el modo de auto-tensión automática una vez que el buque se amarra a puerto. Al término del amarre, el chigre se debe dejar con el freno puesto y fuera del equipo.

Frenos del chigre:

El poder de frenado varía de buque a buque, pero siempre será diseñado para exceder el valor de “soltado” del chigre. La afirmación anterior depende de varios factores que se describen a continuación:

- Correcto número de capas:

El número de capas de cabos en el tambor actúa sobre el efecto del poder de frenado. La fuerza con la que el freno se deslice variará, dependiendo del número de capas de cabos en el tambor, y cuanto mayor sea este número mayor será la reducción de la capacidad de retención del freno.

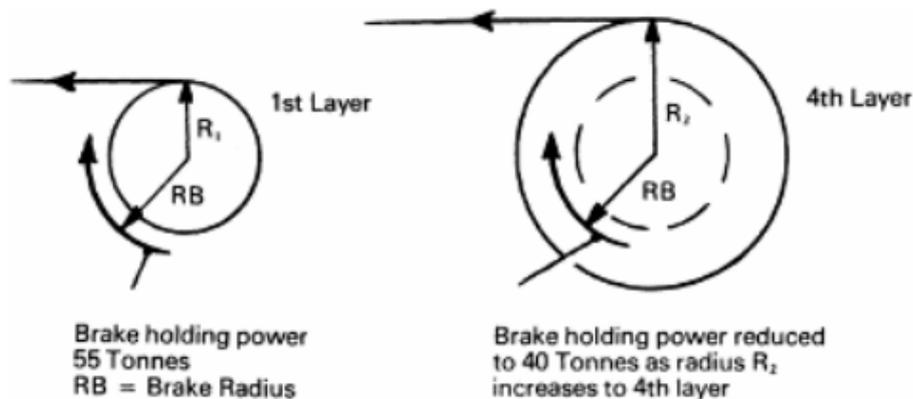


Ilustración 83: *Disminución del poder de retención de freno con el aumento de capas de amarres en el tambor*

- Chigres de tambor no dividido:

La capacidad de retención de freno para estos chigres (no dividido) siempre será citada para un número específico de capas. Con el fin de reducir al mínimo cualquier reducción de la fuerza de sujeción del freno, la línea siempre se debe enrollar en el tambor en un patrón simétrico y no se le permite acumularse en un lado o en el centro. Sin embargo, debido a la longitud de la línea en cuestión, puede que no siempre sea posible lograr esto en la práctica.

La siguiente tabla muestra una pérdida típica de la capacidad de retención de freno para cada capa, basado en el 100% de la primera capa:

Tabla 23: Capacidad de frenado con la variación de capas

CAPA	CAPACIDAD DE FRENADO	
1ª CAPA	100%	55 T
2ª CAPA	88%	48 T
3ª CAPA	80%	44 T
4ª CAPA	73%	40 T
5ª CAPA	67%	37 T

Siempre que sea posible, se deben revisar los valores que se reflejan en las instrucciones del fabricante o los planes de la nave. Si se conoce la capacidad de retención de freno, pero la capa a la que se aplica no corresponde, por el bien de la seguridad se asumirá que se aplica a la primera capa y se harán las asignaciones correspondientes en consecuencia.

- Chigres de tambor dividido:

Este diseño minimiza el daño por aplastamiento de las capas interiores. La capacidad de retención de frenado para estos chigres es siempre dada por una sola capa de cabo con tensión en el tambor.

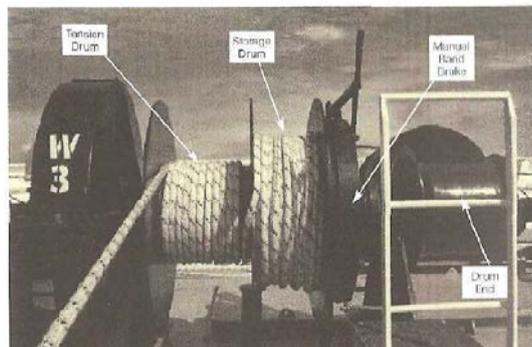


Ilustración 84: Chigre con tambor de almacenamiento

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

Cuando se utiliza este equipo, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El movimiento manual desde el tambor de almacenaje hasta el tambor de tensión puede ser dificultoso y requiere cuidado y suficiente personal.
- Se debe prestar una atención regular para asegurarse de que un número apropiado de vueltas mantienen la tensión del tambor en el tiempo que el buque esté en puerto. No se debe mantener más de una capa en el tambor de tensión cuando la amarra está bajo carga.

- Correcto adujado:

La amarra debe ser enrollada en el tambor del chigre en la dirección y modo apropiados. Los frenos de banda son diseñados para tirar en sentido contrario al final fijo de la banda.

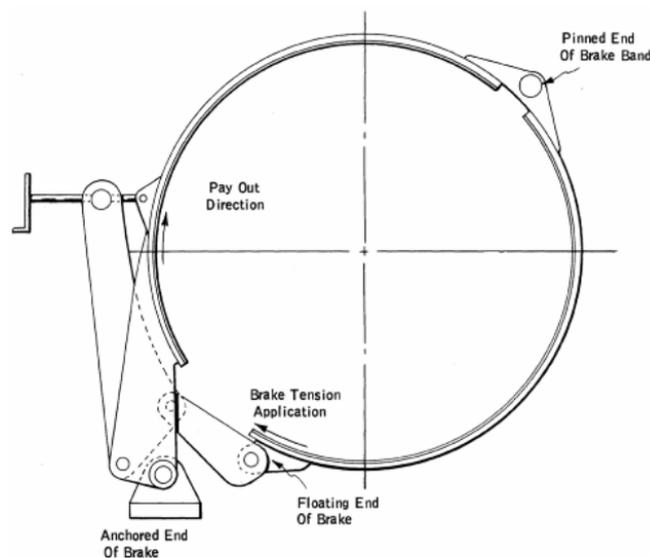


Ilustración 85: Sentido de tensión del freno

El enrollado la amara en el tambor en la dirección errónea puede reducir la potencia de retención del freno por encima de un 50%. Los tambores de los chigres deben ser marcados para indicar el correcto sentido de enrollado. Los chigres montados con discos de freno no tienen este problema.

- Condiciones de freno:

La condición física de los frenos del chigre influye en la potencia de retención del freno. Hidrocarburos, humedad o fuerte oxidación en las zonas del freno o tambor pueden reducir seriamente la potencia de retención del freno.

La humedad puede ser eliminada girando el chigre con el freno aplicado suavemente, aunque con cuidado de que no cause un rozamiento excesivo. Los restos de hidrocarburos no pueden ser eliminados de las bandas, por tanto si se ven afectadas deben ser reemplazadas.

Cuando los frenos están abiertos por alguna razón, el freno del tambor debe ser examinado por si existen restos de óxido o la banda del freno está desgastada y deberán ser totalmente eliminados.

Las uniones del freno deben estar libres y engrasadas. Si las uniones no están libres puede haber una pérdida de potencia de retención del freno y al operador del cabrestante le puede dar la impresión que el freno está aplicado totalmente cuando en realidad no lo está. Algunas partes mecánicas del freno podrían sufrir tensiones elevadas.

Antes del final de una estancia, cuando los frenos serán expuestos al aire marino, es esencial chequearlos para asegurarse que todos los elementos de control y operación están engrasados y lubricados y están libres y fáciles de usar, que todas las uniones están engrasadas, y que los tambores de los frenos y las camisas están limpias, y, en la medida de lo posible, secas.

- Comprobado de frenos:

El deterioro de la capacidad de retención de freno será causado por el uso normal motivado por el rozamiento entre la banda y el tambor. La capacidad de retención de freno debe de ser comprobada anualmente o después de una experiencia con una carga excesiva. Los resultados de la comprobación deben ser guardados. Las bandas del freno serán renovadas si existe un deterioro significativo de la potencia de retención de frenado.

- Aplicación de freno:

Cuando hay una carga en la amarra, el hecho de que el freno no esté totalmente aplicado será obvio. Sin embargo, es complicado aplicar el apriete manualmente a los frenos al máximo posible cuando existe una ligera carga en la línea. Cada tipo de persona puede aplicar diferentes fuerzas en el aplicador del freno.

Por tanto, cuando el francobordo se incrementa durante la descarga o con la marea, los frenos deben ser apretados en intervalos regulares. Cuando la carga en la amarra se incrementa, la redistribución de las tensiones en la banda del freno a menudo relajará la carga en el aplicador, permitiendo apretar más el freno.

Los buques con frenos hidráulicos tendrán probablemente un indicador de par que muestra el par actual aplicado al freno, y se puede mantener siempre el nivel designado por el fabricante del cabrestante.

- Uso incorrecto del freno:

El freno es un dispositivo estático para mantener una línea apretada y no está concebido como un medio para controlar una línea, si una línea tiene que ser aflojada, el cabrestante se debe poner en marcha, el freno se acciona y la línea se afloja. Nunca debe ser aflojada soltando el freno ya que esto provoca el aumento y el desgaste irregular en la banda de freno, es una manera incontrolada y por lo tanto insegura, y si dos líneas en la misma dirección tienen cargas iguales, toda la

carga será transferida repentinamente a la otra línea, y cabe la posibilidad de que parta.

- Capacidad de retención de freno:

El valor de la capacidad de retención del freno en relación con el tamaño de la línea es importante, debe haber un pequeño punto en el sistema de amarre en el cual las partes de la línea soporten una carga menor que la capacidad de retención del freno. Los frenos deben tener una capacidad de retención del freno de un 60% de la carga de rotura en los tambores, lo que permite el deslizamiento antes de que la línea rompa.

- Circunstancias excepcionales:

Ocasionalmente, cambios inesperados en la carga, quizá causados por vientos extremos, olas, oleaje o mareas, pueden causar que los frenos se deslicen y el buque corra el riesgo de moverse por el muelle. Si esto ocurriese, no se deben liberar los frenos e intentar llevar el buque al lado del muelle, ya que es imposible, y cualquier intento por hacerlo solo empeorará la situación. Debe ser solicitada la asistencia de un remolcador, la máquina debe estar lista para la maniobra, y las mangueras deben ser desconectadas.

Si el problema es causado por vientos fuertes, se considerará reducir el francobordo cargando lastre extra cuando sea posible.

- Chigre engranado:

Accionando el chigre con el engranaje y ajustándolo con la máxima tensión puede incrementar la capacidad de retención de freno. Sin embargo, esto solo debe ser considerado en una situación de emergencia y no debe ser engranado en operaciones normales ya que es posible que:

- Supere la tensión de rotura de la cuerda y la carga de seguridad de conexiones y rodillos;
- Dañe el chigre torciendo su eje.

A modo de ejemplo, si el valor de tensión máxima es de 35 toneladas y el poder de retención de freno es de 65 toneladas, el poder total de retención es 100 toneladas, si se utiliza una línea con una carga de rotura de 108 toneladas con un 20 % de reducción por rozamiento y desgaste, la carga de rotura será de solo 86 toneladas, y la línea probablemente se romperá.

- Clima helado:

Durante periodos de clima helado será necesario arrancar los chigres de vapor continuamente para prevenir serios daños en los cilindros, tubos de vapor, etc. De forma alternativa, algunos chigres están provistos con un bypass de exhaustación de vapor que puede ser ajustado para circular suficiente vapor para pasar a través del circuito y prevenir la congelación de la tubería.

4.5.7 DEFENSAS

Protecciones que se emplean en las embarcaciones o en los muelles para evitar roces y golpes. En las embarcaciones se cuelgan por la borda hasta la flotación, en los muelles se cuelgan de las argollas o de los bolardos. [93] [94]



Ilustración 86: Defensas simples



Ilustración 87: Defensas de mano

4.5.8 NORAYS Y BOLARDOS

Los norays y bolardos son piezas de acero fundido. El bolardo tiene una misión idéntica al noray, diferenciándose de este en su terminación más ancha en la cabeza, con el efecto de hacer más difícil que la gaza pueda zafarse de él cuando se encapilla. [123]

Encapillar consiste en introducir la gaza en el noray. Si ya hubiera otras, la forma de introducir nuestra gaza sería por dentro de las gazas ya encapilladas, como se

ve en la figura. De esta manera cualquiera de las gazas existentes se podrían desencapillar sin dificultad.

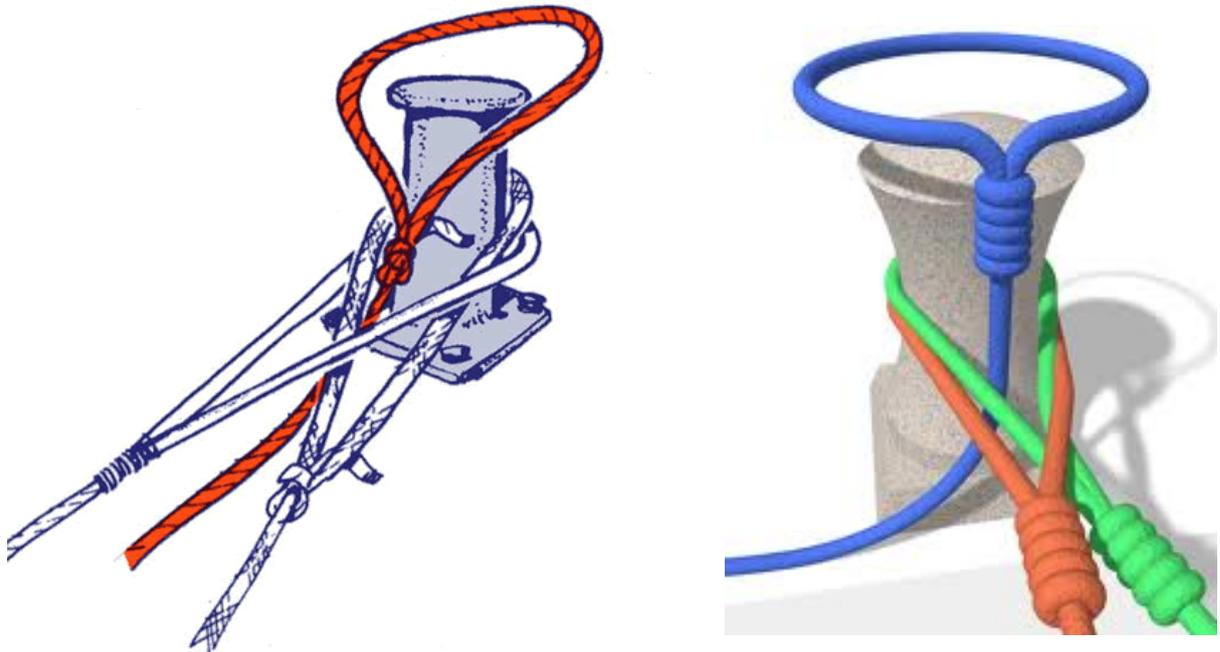


Ilustración 88: Encapillado correcto



Ilustración 89: Norays del muelle

4.5.9 SITUACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE AMARRE, FONDEO Y REMOLQUE

En este punto se detallan la posición, orientación y dimensiones de los elementos que forman parte del sistema de amarre, fondeo y también remolque. Para determinar el número y los elementos (bitas, guías, roletes, escobenes,...) que deben acompañar a la maquinaria calculada en los apartados anteriores tradicionalmente se ha hecho referencia a la Norma NAE (Norma de Astilleros Españoles) en la cual, como se muestra a continuación, se detallaban todos estos

aspectos. La Norma NAE tiene por objetivo dar unas directrices acerca de los elementos expuestos, basadas en la práctica de los astilleros. Algunas de estas normas son simplemente copia de las correspondientes normas UNE, a las que se les cambió el número para adaptarlas a la organización interna de los Astilleros, y otras son modificaciones de normas UNE para adaptarlas a las necesidades de nuestro Astilleros.

El número y situación de los elementos de amarre, fondeo y remolque que llevan los buques, están determinados por la superficie expuesta al viento que estos tienen, por las exigencias para pasar por los canales de Panamá o Suez, y por los requisitos de los armadores en cuanto a mayor facilidad de maniobra de la tripulación. En base a esto, el querer establecer una norma rígida de situación y número de dichos elementos, no es posible, pero si fijar unas ideas generales a tener en cuenta para la situación y empleo de los elementos de amarre, fondeo y remolque normalizados. [1]

Cuando la especificación exige que el buque cumpla con los reglamentos del canal de Panamá y/o Suez, se consultarán en este caso las Normas NAE 03.62310 y NAE 09.6231 respectivamente, donde se indica el tipo y situación de las guías. En cuanto a las guías Panamá, serán preferentemente tipo A, con la guía centrada en crujía, en los extremos de proa y popa.

En la cubierta castillo del buque se sitúan elementos de los sistemas de amarre, fondeo y remolque de proa, el cual se detallará en los planos del buque, y en el que se podrán ver los diferentes elementos con un número de referencia para ser identificados. Por ejemplo:

- 4 Guías de costado.
- 4 Bitas de amarre.
- 1 Guía de remolque.
- 2 Roletes.
- 2 Estopores de rodillo.
- 2 Rodillos de reenvío para cadena.
- 1 Bitas de remolque.
- 1 Molinete de anclas.

En la cubierta principal del buque, en el cuerpo central, se disponen elementos del sistema de amarre, a ambos costados, que serán por ejemplo:

- 4 Bitas de amarre.
- 6 Guías de costado.
- 5 Bitas de amarre.
- 1 Guía de remolque.
- 5 Roletes.
- 1 Maquinilla de amarre.

4.6 EFECTOS DE LAS ESTACHAS

4.6.1 FUERZAS QUE DEBEN SOPORTAR LAS AMARRAS Y EFICACIA DE LAS MISMAS

Las estachas deberán soportar el movimiento del buque, desde el primer momento que se dan a tierra para llevar el buque al atraque, hasta crear el movimiento necesario para moverlo en el atraque y posicionarlo en el segmento del atraque asignado. Posteriormente, mientras dure su estancia en el muelle de atraque, las estachas deberán seguir soportando los movimientos que sean motivados por los agentes externos que actúen sobre el buque. Los agentes principales serán el viento, corriente, oleaje, interacciones por el paso próximo de otros buques, mareas, cambios bruscos de calado y hielos a la deriva.

No obstante, las fuerzas generadas sobre los buques variarán sustancialmente de uno a otro buque en función, no sólo de los parámetros influyentes que se verán posteriormente por naturaleza de las superestructuras y calado, sino también por la configuración de la proa, ya que según sea la misma, así alteran el flujo del viento con generación de fuerzas de succión que se desarrollan alrededor de las proas de tipo cilíndrico y los ángulos de incidencia del viento, comprendidos entre los 40 y 100°, condicionantes no significativos en los buques con proa de configuración convencional.

Por otro lado, el resultante de la retención que ejerce una amarra no vendrá solamente dado por la carga de rotura (CR) que puede soportar, sino por la resultante que proporcione la orientación de la misma respecto a los puntos de firme en tierra y de salida del buque, correspondiendo a la diagonal del paralelepípedo que la contiene, con notables pérdidas de eficacia respecto a la teórica amarra pura que alcanzaría la mencionada CR propia por constitución de la amarra.

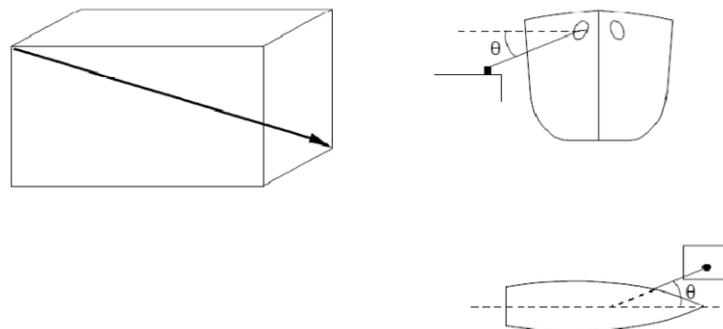


Ilustración 90 (Fuente: CEDEX, 1990)

La eficacia de las amarras, según lo dicho anteriormente, dependerá de los ángulos vertical y horizontal en los que se descomponga la acometida de la amarra y se tenderá a disponer del menor número posible de líneas, siempre y cuando sean eficientes.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

Las líneas de amarre se tenderán buscando la máxima horizontalidad posible, para aumentar su eficacia limitando movimiento de vaivén, deriva y guiñada. El ángulo máximo con la horizontal será de 25° a 30° , es decir, una pendiente de 1:2. La reducción del ángulo vertical puede lograrse de forma sencilla utilizando líneas más largas, amarradas a bolardos lejanos, o disponiendo bolardos altos.

Las líneas saldrán del buque lo más a proa o a popa posible, para aumentar su longitud y eficacia transversal.

Las líneas se mantendrán tensas en todo momento, a ser posible mediante el uso de chigres automáticos de tensión constante, siendo revisadas con frecuencia. Se observan habitualmente, en el conjunto de los buques atracados, un 35% o 45% de estachas sueltas y por tanto ineficaces. A continuación se muestran tres ejemplos de buques atracados con alguna estacha en banda:



Ilustración 91 (Fuente: Elaboración propia)



Ilustración 92 (Fuente: Elaboración propia)



Ilustración 93: Fragata atracada en Arsenal Ferrol

En el plano vertical se obtendrá:

$$S_v = S \sin\theta \qquad S_h = S \cos\theta$$

Mientras que en el plano horizontal:

$$R_j = S \cos\theta \cos\theta \qquad R_t = S \cos\theta \sin\theta$$

En las que el valor “S” corresponde a la carga de rotura (CR) de la amarra.

Se mejora la eficacia de la retención, bajando el punto de amarra a bordo para hacer más pequeño el ángulo vertical.

También, alejando el punto de amarre en tierra, hasta lograr valores del ángulo inferiores a 25°, si a 30 m. se requieren 8 estachas, a 60 m solo precisan 2 estachas.

Aumentando la longitud del cabo, siguiendo el principio de que al aumentar al doble su longitud, se divide por 2 la resistencia que debe de soportar.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

Los esprines deben tener una dirección de acometida, lo más paralelo posible al eje longitudinal para que el ángulo de abertura sea muy pequeño, aportando el máximo de eficacia.

En cuanto a la distribución de las amarras por grupos, con la capacidad de retención del conjunto, se tiende a pasar de un sistema tradicional de largos y esprines a otro sistema de amarre en que las estachas sujeten al buque en su misma eslora, mediante el uso de traveses y esprines.

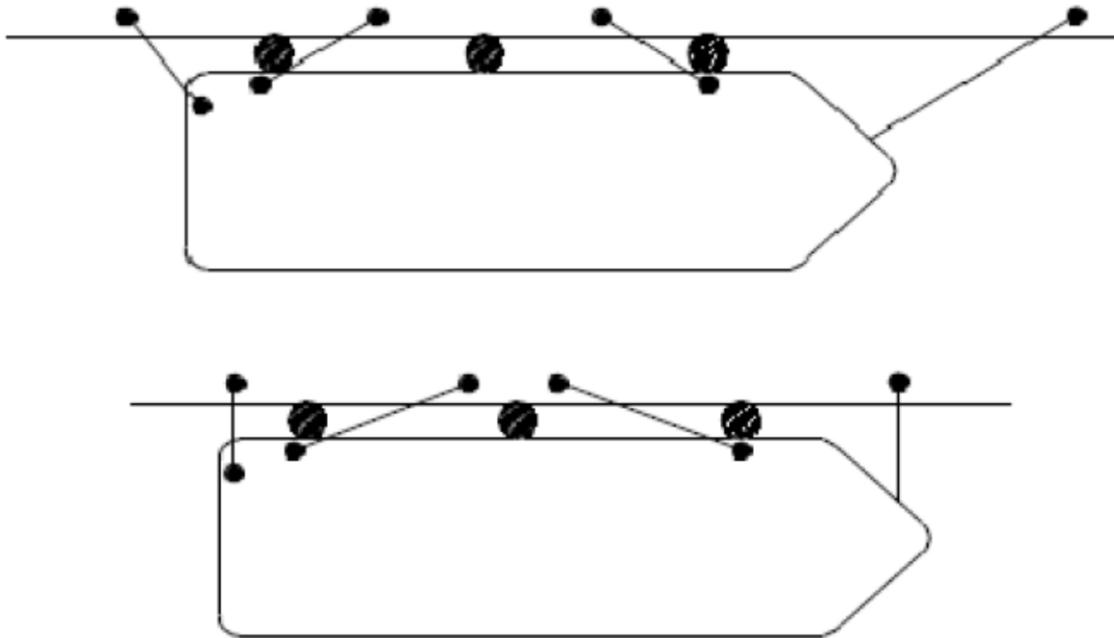


Ilustración 94: Ángulos de abertura de las estachas con respecto al muelle

Con el método tradicional, efectuado en un muelle típico, las capacidades de retención son:

- a) Capacidad a la resistencia transversal:

$$A = 2A \cdot \sin 30^\circ \cdot \cos 30^\circ = 0,87A$$

- b) Capacidad a la resistencia longitudinal:

$$B = 1B \cdot \cos 30^\circ + 1A \cdot \cos 30^\circ \cdot \cos 30^\circ = 0,87B + 0,75A$$

Con el nuevo método, los ángulos de acometida no deben superar los 15° respecto a la horizontal, ni 25° respecto a la vertical.

Con el amarre en la propia eslora, en atraques especiales, las capacidades de retención pasan a ser:

- a) Capacidad de resistencia transversal:

$$C = 2 + C$$

b) Capacidad de resistencia longitudinal:

$$B = 1 + B$$

Es evidente el notable aumento de la retención cuando el buque es retenido en su misma eslora; sin embargo, sólo es posible para amarres y buques específicos, en cuyas instalaciones se hayan previsto las características de los buques que deban acoger, tales como pantalanes, jetties, duques de alba, etc. Mientras, en las instalaciones portuarias no específicas, válidas para todo tipo de buques de tonelajes medios, tal tipo de amarre resulta imposible de llevar a cabo, ya que los puntos de amarre sobre muelle están muy próximos al nivel del mar, y por tanto, las amarras adquieren importantes inclinaciones superiores a las requeridas.

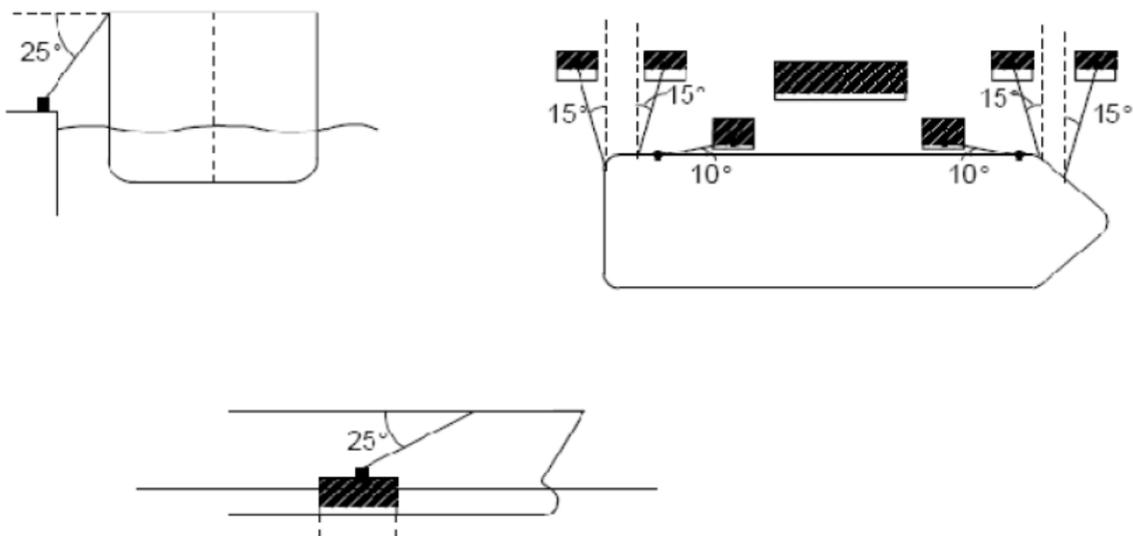


Ilustración 95: *Distribución de las estachas según las instalaciones portuarias*

Método para obtener un punto de amarre más bajo en el buque mediante bolardo lateral:

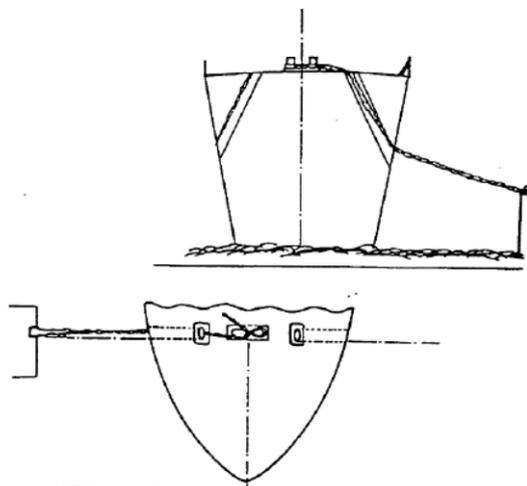


Ilustración 96: *Métodos para obtener puntos de amarre más bajos pasando las amarras por tubos* (Fuente: CEDEX, 1990)

Las estachas han de disponerse alineadas con el desplazamiento que se busca restringir. Además el ángulo vertical ha de ser inferior a 30° para no perder efectividad.

4.6.2 DISPOSICIÓN Y DEFINICIÓN DE UN PLAN DE AMARRE

El término “disposición de amarre” se refiere a la disposición geométrica de las líneas de amarre entre el buque y el muelle. Debe tomarse en consideración que la industria ha estandarizado el concepto de esquema de amarre, teniendo en consideración criterios estándar medioambientales. El esquema genérico de amarre es principalmente aplicable a un entorno “multidireccional” y al diseño del equipo de amarre del buque. El término multidireccional se refiere a que no domina ninguna dirección o que ninguno de los factores meteorológicos se convierte en un factor dominante.

Para terminales con un “ambiente direccional”, por ejemplo, con existencia de gran corriente, viento o mar de fondo, una configuración específica y más eficiente para ese lugar sería una que incluyera largos adicionales de proa y popa y/o líneas extras de traveses. Para buques con operaciones de carga y descarga regulares en estos muelles, debería tenerse en cuenta el proveer al buque de mayor capacidad de equipo de amarre.

La línea más efectiva para resistir cualquier fuerza es la orientada en la misma dirección de la carga. Esto implicaría que, teóricamente, las líneas de amarre deben estar orientadas en la dirección de las fuerzas medioambientales y ser fijadas a un punto en el buque, tal que la fuerza de actuación resultante y la fuerza que restringe el movimiento provocada por el amarre, actúen en la misma dirección. Un sistema así sería inviable por no tener flexibilidad para acomodar las diferentes cargas medioambientales y los puntos de amarre en los muelles. Para aplicaciones generales, es necesario que la distribución del amarre pueda ser capaz de capear con fuerzas ambientales provenientes de cualquier dirección.

Esto puede aproximarse dividiendo esas fuerzas en componentes longitudinales y transversales y luego calculando como resisten con mayor efectividad. Esto desemboca en que algunas líneas de amarre deben estar en una dirección longitudinal (líneas de espríns) y otras en dirección transversal (líneas de traveses). Este es el principio para una distribución y disposición de amarre efectiva para un caso general, aunque no siempre podrán ponerse en práctica en emplazamientos reales en muelles y terminales. La pérdida de eficiencia causada por el desvío del modelo óptimo se ve en las siguientes figuras. Se puede observar comparando los casos 1 y 3, como la carga máxima varía de 57 (559 kN) a 88 toneladas (863 kN).

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que para un viento de proa (o popa) de 60 nudos, la carga más alta de estacha para la disposición general del amarre es de 19,5 toneladas, mientras que es 28,6 toneladas para el esquema específico (amarrando con cables, caso 3). Por lo tanto, para terminales donde las fuerzas

medioambientales se manifiestan en una única dirección, la distribución específica es más eficiente.



Ilustración 97 (Fuente: Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition)

Hay una diferencia básica en la función de líneas de esprin y de través, que debe ser entendida tanto por diseñadores como por operadores. Las líneas esprin restringen el movimiento del buque en dos direcciones (avante y atrás), y las líneas de través esencialmente ejercen restricción en una sola dirección (la del atraque). Mientras que todas las líneas de través serán tensionadas bajo una fuerza procedente del muelle de atraque, solo las líneas esprin de proa y popa serán tensionadas generalmente. Por esta razón el método de tendido de línea difiere entre líneas esprin y traveses. Es importante reconocer esto, si las líneas esprin están pre-tensionadas, la retención longitudinal efectiva está desarrollada solo por la diferencia entre la tensión en las líneas esprin opuestas. Así, demasiada pre-tensión puede reducir significativamente la eficiencia del sistema de amarre. Asimismo diferencias en ángulos verticales entre esprines de proa y popa pueden llevar a que se produzca vaivén del buque sobre el muelle.

Las disposiciones de amarre para entornos con fuerzas en una dirección deben incorporar líneas a proa y popa que estén orientadas entre la dirección longitudinal y transversal. Esto optimiza el movimiento restringido para la dirección longitudinal, donde la fuerza dominante del entorno actúa, mientras mantiene algo de resistencia lateral para el esfuerzo lateral menos dominante. [80]

Otra opción de esquema de amarre con fuerzas dominantes longitudinales es agregar más líneas esprin. [81]

Además, la efectividad de una línea de amarre está influenciada por dos ángulos, el vertical que forma la línea con el suelo del muelle y el horizontal que forma la línea con el costado del barco. Cuanto mayor sea la amplitud del ángulo formado por la línea de amarre, menor será la resistencia efectiva horizontal. Como ejemplo se puede destacar que una línea de amarre orientada en un ángulo vertical de 45° es sólo el 75% de efectiva en restricción de movimiento, en comparación con una línea orientada un ángulo vertical de 20°. Similarmente, cuanto mayor es el ángulo horizontal entre el costado del buque y la línea, menos efectiva es la línea en cuanto a la resistencia a la fuerza longitudinal que existe. [80]

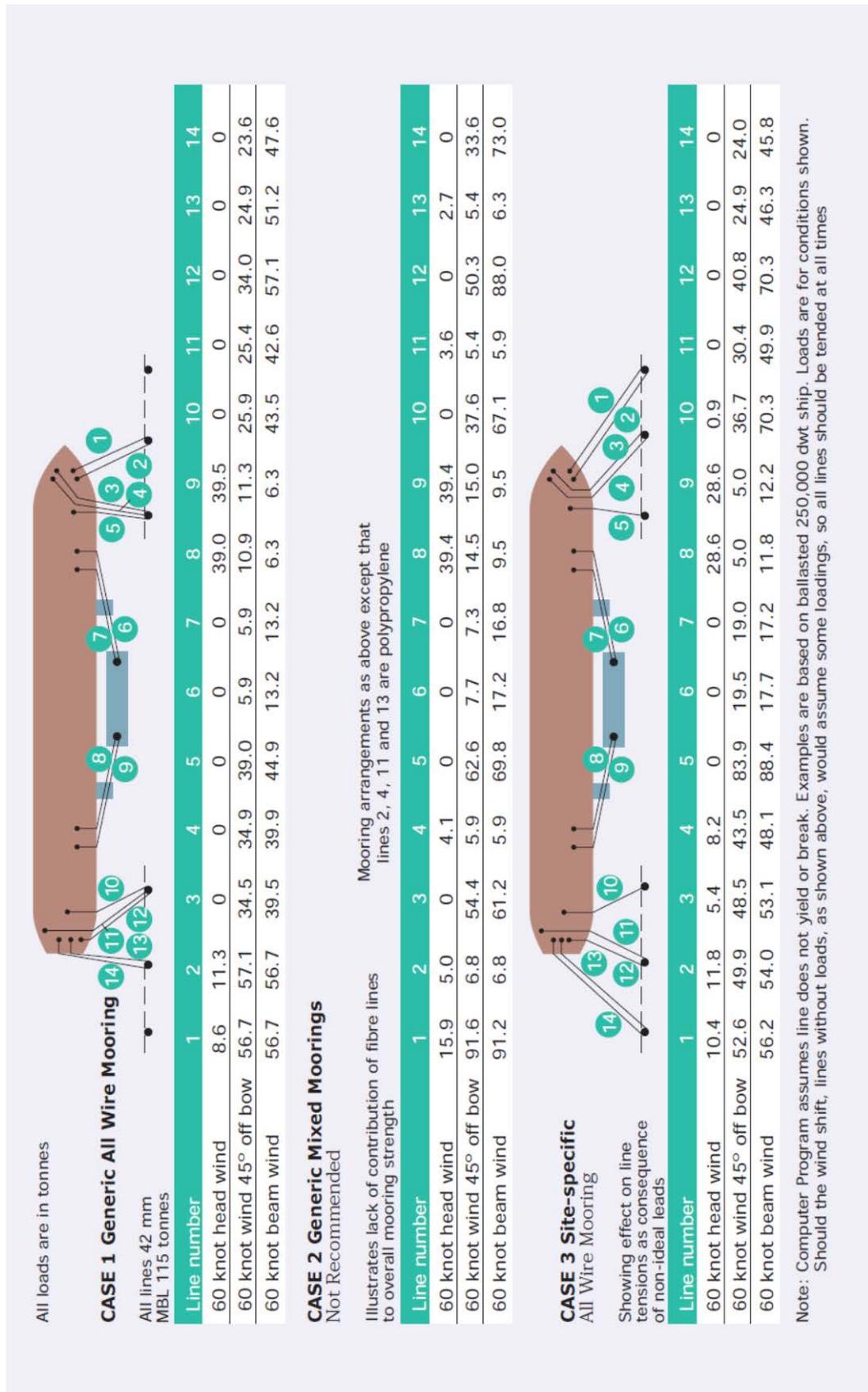


Ilustración 98: *Análisis de configuraciones de amarre* (Fuente: Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition)

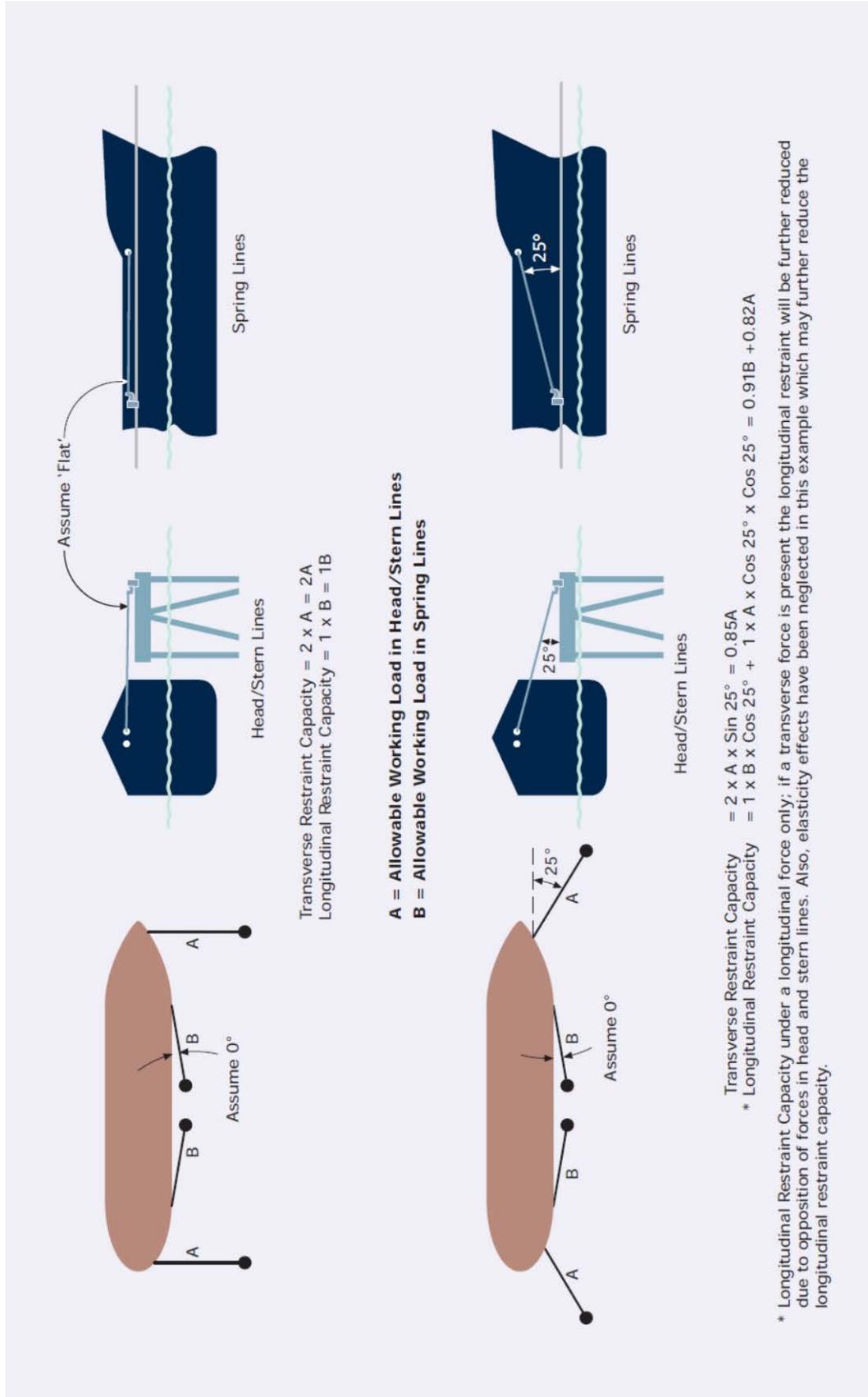


Ilustración 99: Efecto de la orientación de las estachas y la capacidad de retención (Fuente: Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition)

El plan de amarre, específico para cada buque, deberá contener diversas partes, por las que en su conjunto pueda abarcarse todas las posibilidades de acaecimientos normales e inesperados, por la que deba ejecutarse acciones precisas por la tripulación de guardia durante la permanencia del buque en el atraque.

La primera parte incluye la propia definición de las necesidades del atraque, en las que se habrán considerado las fuerzas a soportar dadas las condiciones meteorológicas presentes y previstas en las próximas horas y días. Esta parte define el amarre seguro en condiciones conocidas.

Una segunda parte debe incluir las maniobras de emergencia que podrán sucederse ante situaciones inesperadas o extraordinarias, que puedan afectar a la seguridad del buque, a las que se aportarán soluciones lógicas o especiales y que serán conocidas por todos los responsables de cubierta. [82]

Otra parte se dedicará a las instrucciones que debe recibir y ejecutar la gente de cubierta con responsabilidades de guardia, en especial la de cabos, con un listado de acciones y operaciones concreto y exhaustivo, de las que se espera un cumplimiento puntual y una esmerada atención por parte de los interesados. De esta parte, tendrán copia, no solo los marineros interesados sino también el contraemaestre, y por supuesto el oficial de guardia para su seguimiento en un momento dado. [11]

Finalmente, se tendrá disponible un plan de mantenimiento de todo el equipo de amarre, desde engrase, presión, movimiento, cuidados, etc. que puedan requerir las maquinillas, chigres, tensores, etc., que equipen el buque en cada cabeza de maniobra y cajas de cubierta. La fiabilidad de su buen funcionamiento será garantía de la seguridad del amarre.

La totalidad del plan de amarre estará disponible para su consulta por los oficiales de guardia y personal de cubierta, y posiblemente debe distribuirse una copia al personal de tierra, si así fuera exigido.

Las directrices en cuanto al amarre antes mencionadas fueron desarrolladas para optimizar la distribución de cargas. En la práctica, la selección final de una distribución para un muelle dado debe también tener en cuenta la operatividad local y las condiciones climatológicas, la geometría del puerto y el diseño del buque. Algunos pilotos, por ejemplo, desean líneas de amarre en cabeza y popa para ayudar al buque a moverse hasta, a lo largo o afuera del muelle, mientras otros quizá usen esprines para esto. Líneas de amarre en cabeza y popa podrían ser ventajosas en muelles donde los puntos de amarre están demasiado cerca del buque y buenos traveses no pueden utilizarse, o donde los bolardos están localizados de tal forma que las líneas tendrán un gran ángulo vertical en la condición de no cargado. Estos ángulos excesivos podrían resultarían en una considerable reducción de la capacidad de retención.



Ilustración 100

Fuertes vientos y corrientes de ciertas direcciones podrían hacer deseable el tener una distribución de amarre asimétrica. Esto puede significar más líneas de amarre o traveses en uno de los extremos del buque.

El otro factor a considerar es la longitud óptima de las líneas de amarre. Sería deseable mantener todas las líneas en un ángulo vertical menor de 25°. Por ejemplo, si la guía del buque está 25 m por encima del punto de amarre del muelle, el punto debe estar a 50 m horizontalmente de la guía.

Líneas largas son ventajosas desde un punto de vista de eficiencia de carga y tendido de línea. Sin embargo, donde son usadas las fibras convencionales, la elasticidad puede ser una desventaja por permitir al buque moverse excesivamente y consecuentemente dañando los brazos de carga.

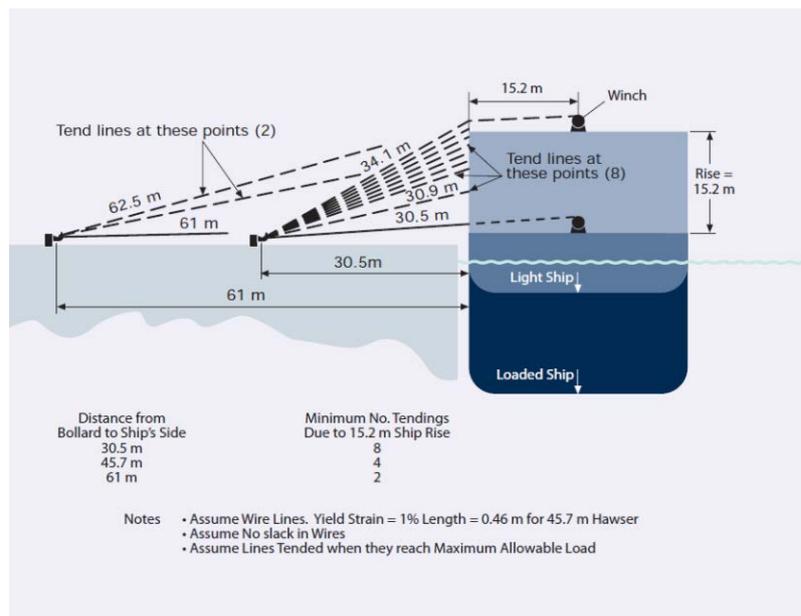


Ilustración 101: Efecto de la longitud de la línea en los requerimientos del tendido (Fuente: Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition)

4.6.3 FUNCIONES DE LAS AMARRAS. ENSAYOS

La función básica de las amarras es la de mantener sujeto el buque en la posición asignada, con el mínimo de libertad en su movimiento, de tal manera que pueda asegurar su posición estática respecto a puntos fijos de tierra o del fondo. Sin embargo, las amarras tienen funciones complementarias en cualquier circunstancia en que el buque deba adquirir una relación de contacto externo con otro buque o tierra.

En el primer caso, las amarras son utilizadas como elementos de unión en operaciones de remolque, como vínculo externo que relaciona ambos buques.

En el segundo caso, las amarras establecen el primer contacto con tierra cuando el buque se encuentra a una razonable distancia de ella y, a partir de entonces, el trabajo de las amarras, junto con otras asistencias (remolcadores, hélices de maniobra, etc.), conducirán al buque hasta dejarlo en su posición previa o definitiva. Para cada uso, existirá una amarra que se ajuste mejor a las necesidades de trabajo para la que será solicitada, lo cual determina la elección previa.

El buque amarrado constituye un sistema dinámico de masa variable unido a su entorno por una serie de ligaduras elásticas (estachas y defensas) de comportamiento no lineal y rigideces diferentes, y sometido a amortiguamientos de diverso origen (fricción con el agua o las defensas, formación de torbellinos, deformación de amarras y defensas, etc.). Por ello, su comportamiento frente a una excitación aleatoria y de espectro amplio, como es el oleaje, es muy difícil de simplificar y reducir a fórmulas sin perder fiabilidad.

A pesar del coste elevado que supone la construcción de un modelo físico, en relación con el coste de realizar una simulación matemática, en la actualidad se continúan haciendo ensayos en modelo físico.

El objetivo principal de los ensayos de comportamiento de buques atracados es poder estimar el rango de las tensiones en las estachas y de las reacciones en las defensas, así como las amplitudes de los movimientos de los buques, con el fin de orientar sobre las condiciones de explotación y la operatividad de los atraques.

El buque atracado es considerado como un sistema oscilatorio, cuyos movimientos están restringidos por la actuación del equipo de amarre y las defensas, sometido a una excitación exterior impuesta por el oleaje, la corriente y el viento. De acuerdo con un buque tipo, sus disposiciones de estachas y defensas y los dispositivos de ensayo, se miden y almacenan las series temporales de las distintas variables definitorias del comportamiento del buque atracado. Concretamente: oleaje exterior, movimientos del buque (vaivén, deriva, guiñada, arfada, cabeceo y balance), fuerzas en las estachas (largos, springs y traveses) y reacciones en las defensas, para su posterior análisis.

Antes de realizar los ensayos de barcos atracados, se suelen realizar los ensayos de agitación, de los cuales se obtienen unos resultados menos precisos sobre la operatividad de un determinado muelle.

Con los ensayos de barco atracado en modelo físico se pretende cuantificar la operatividad de un atraque, es decir, el número de horas anuales en las que un buque determinado en una posición del muelle, podría realizar sus operaciones de carga y descarga. En los ensayos se miden las fuerzas en las estachas, las reacciones en las defensas y los movimientos del buque atracado, sometido a la excitación del oleaje.

Las fuerzas en estachas y defensas se miden generalmente por medio de extensómetros. Los movimientos del buque atracado se registran por métodos diversos en los distintos centros de experimentación: acelerómetros, emisores-receptores láser y sistemas ópticos.

Una vez adquiridos los datos en el modelo físico con la instrumentación mencionada se almacenan las series temporales en un ordenador para su posterior análisis y obtención de resultados.

Para que los resultados obtenidos en un modelo a escala puedan ser tomados como representativos de la realidad, éste debe cumplir ciertas leyes de semejanza. En el caso de un modelo hidráulico, deben tenerse en cuenta la semejanza geométrica, cinemática y dinámica:

– **Semejanza geométrica:** Permite relacionar las dimensiones del modelo con las del prototipo a través de una o varias transformaciones geométricas. $L_p = \lambda L_m$

– **Semejanza cinemática:** Añadiendo a las relaciones geométricas una escala de tiempos, permite relacionar las velocidades y aceleraciones de modelo y prototipo. $t_p = \lambda t_m$

– **Semejanza dinámica:** Presupone las anteriores y añade las escalas de fuerzas existentes en el fenómeno objeto de estudio. $M_p = \lambda M M_m$

No es posible obtener semejanza total entre modelo y prototipo, por las características de los fluidos utilizados (no reproducibles a escala) y por trabajar bajo la acción de la gravedad (que lógicamente no mantiene la escala). Por ello, se recurre a emplear semejanzas parciales, en las que se reproduzcan adecuadamente las fuerzas dominantes en el fenómeno objeto de estudio, admitiendo una cierta desviación en las secundarias (efectos de escala).

Una forma de determinar la operatividad de los muelles se lleva a cabo de acuerdo con los resultados de los ensayos, siguiendo el método que a continuación se expone:

En primer lugar, se fijan los valores máximos admisibles para los movimientos del buque a efectos de explotación del atraque y las fuerzas máximas admisibles en las estachas y en las defensas. Los criterios para determinar las amplitudes admisibles de los movimientos de los buques dependen, entre otros factores, del tipo de buque, de la mercancía y de los medios de carga y descarga disponibles. Los valores utilizados pueden ser los fijados y establecidos por el Grupo de

Trabajo nº 24 de la Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC) en su Informe Final de 1995. [90]

En cuanto a las fuerzas admisibles en las estachas y en las defensas, se pueden adoptar los valores de sus respectivas cargas de trabajo.

Posteriormente los límites anteriores se interpretan desde un punto de vista estadístico, asociando los fenómenos (movimientos y esfuerzos), a las frecuencias de excedencia del oleaje que los provoca, de acuerdo con los datos del correspondiente estudio de Clima Marítimo, resultando así las relaciones:

- Altura significativa del oleaje (Hs): amplitud admisible del movimiento
- Altura significativa del oleaje (Hs): fuerza admisible

Estas relaciones permiten estimar los máximos de las amplitudes de los movimientos y de las fuerzas esperables en ocho horas de oleaje continuado.

Procediendo en sentido contrario, a partir de los valores umbrales de referencia puede obtenerse la altura de ola significativa límite correspondiente al valor admisible de cada movimiento o de cada fuerza, bien sea la tensión en las estachas o la reacción de las defensas. De esta forma, se detecta el movimiento o la fuerza que daría lugar a la suspensión de la operación de carga/descarga y su altura de ola límite admisible.

Combinando este resultado con el régimen direccional del oleaje, y extrapolando mediante una distribución de Weibull, puede calcularse un índice de operatividad (horas/año o días/año), en que los movimientos o fuerzas superen la amplitud admisible y durante los cuales no puede desarrollarse la transferencia de carga a pleno rendimiento. En consecuencia, puede compararse la bondad de cada configuración analizada en términos de operatividad.

4.6.4 FUERZA NECESARIA PARA ATRACAR EL BUQUE ACERCÁNDOLO PARALELAMENTE AL MUELLE

Para analizar este capítulo se va a realizar un análisis de un portaaviones. Para una mayor comprensión de este caso se van a suponer unos valores:

- | | | |
|-----------------------------------|------|----------------|
| • Eslora en la flotación | 206 | m |
| • Calado | 6.6 | m |
| • Área lateral expuesta al viento | 5290 | m ² |

Si consideramos que la maniobra de amarre se debe llevar a cabo con winches de potencia suficiente para mover el buque en paralelo al muelle con viento transversal en contra de hasta 35 nudos, sin utilizar elementos de propulsión, la fuerza necesaria para aproximar el buque al muelle se determina con el auxilio de la siguiente formulación extraída de “Design Data Sheet Department of the Navy

Naval Sea Systems Command. DDS-582-1. Calculations for mooring systems”.
(DDS-582-1 Navy Naval , 1984) [27] [61]

$$Pot = \frac{P_{cp} \cdot V_{cp}}{60000 \cdot r_c \cdot r_g}$$

Donde:

Pot : Potencia requerida por un cabrestante (kW).

P_{cp} : Tiro desarrollado por un cabrestante (N).

V_{cp} : Velocidad corta de los cabrestantes (m/min).

r_c : Rendimiento de los cabirones.

r_g : Rendimiento de las transmisiones mecánicas.

Siendo a su vez,

$$P_{cp} = \frac{F_{yw} + F_{yc}}{n}$$

P_{cp} : Tiro desarrollado por un cabrestante (N).

F_{yw} : Fuerza total debida al viento (N).

F_{yc} : Fuerza total debida a la corriente (N).

n : Número de cabrestantes.

Se define

$$F_{yw} = 0.1618 C_{yw} V_w^2 A_s$$

$$F_{yc} = 135.95 C_{yc} V_c^2 L_{WL} T$$

Donde

F_{yw} : Fuerza total debida al viento (N).

C_{yw} : Coeficiente que se obtiene de la referencia i).

V_w : Velocidad del viento (Kt).

A_s : Área lateral expuesta al viento (m²).

F_{yc} : Fuerza total debida a la corriente (N).

C_{yc} : Coeficiente que se obtiene de la referencia i).

V_c : Velocidad de la corriente (Kt).

L_{WL} : Eslora en la flotación (m).

T : Calado (m).

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

Se considera que el viento y la corriente inciden perpendicularmente al plano de crujía del buque. Además se supone que el muelle tendrá una profundidad de 10 metros, de la referencia anterior se obtiene:

$$C_{yw} = 1,00$$

$$C_{yc} = 1,90$$

La velocidad de la corriente se obtendrá al expresar en nudos la velocidad corta de los cabrestantes:

$$V_c = \frac{60}{1852} V_{cp}$$

Con todo lo anterior es posible realizar la siguiente tabla que da como resultado una estimación de la potencia requerida por los cabrestantes a instalar en las estaciones de amarre de popa y centrales, así como de la fuerza que deben desarrollar estas máquinas y el molinete de anclas para aproximar el buque al muelle.

• Eslora en la flotación	206	m
• Calado	6.6	m
• Área lateral expuesta al viento	5290	m ²
• Número de cabrestantes	4	
• Velocidad corta de los cabrestantes	15	m/min
• Eficiencia de los cabirones	95	%
• Eficiencia de las transmisiones mecánicas	85	%
• Velocidad lateral del viento	35	Kt
• Velocidad lateral de atraque	0.49	Kt
• Coeficiente de la fuerza debida al viento	1	
• Coeficiente de la fuerza debida a la corriente	1.9	
• Fuerza lateral debida al viento	1048504	N
• Fuerza lateral debida a la corriente	82937	N
• Tiro unitario de los cabrestantes	282860	N
• Tiro unitario de los cabrestantes	28.83	t

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- Potencia requerida 87.6 kW
- Potencia requerida 119.1 CV

El tiro calculado para los cabrestantes de amarre con el requisito impuesto de que la maniobra de amarre se debe llevar a cabo con winches (maquinillas) de potencia suficiente para mover el buque en paralelo al muelle con viento transversal en contra de hasta 35 nudos, sin utilizar elementos de propulsión, es muy elevado, y supondría la elección de unas maquinillas de amarre que, tras consultar con posibles suministradores, debido a su volumen sería imposible ubicarlas para que existiera espacio para manipularlas en las estaciones centrales de amarre, a no ser que estas últimas estuvieran sobredimensionadas.

Si repetimos el estudio del tiro de los cabrestantes de amarre con un viento de 15 nudos, los resultados son los siguientes:

- Eslora en la flotación 206 m
- Calado 6.6 m
- Área lateral expuesta al viento 5290 m²
- Número de cabrestantes 4
- Velocidad corta de los cabrestantes 15 m/min
- Eficiencia de los cabirones 95 %
- Eficiencia de las transmisiones mecánicas 85 %
- Velocidad lateral del viento 35 Kt
- Velocidad lateral de atraque 0.49 Kt
- Coeficiente de la fuerza debida al viento 1
- Coeficiente de la fuerza debida a la corriente 1.9
- Fuerza lateral debida al viento 192582 N
- Fuerza lateral debida a la corriente 82937 N
- Tiro unitario de los cabrestantes 68880 N
- Tiro unitario de los cabrestantes 7.02 t

- | | | |
|----------------------|------|----|
| • Potencia requerida | 21.3 | kW |
| • Potencia requerida | 29.0 | CV |

El tiro calculado con esta velocidad de viento es razonable e incluso mucho más demandante que el instalado en el portaaeronaves "Príncipe de Asturias", que tiene en la estación central un tiro de 2.75 t y en la estación de popa un tiro de 6.85 t a 15 m/min.

Se podría por tanto relajar el requisito de la velocidad de aproximación con los cabrestantes reduciendo de 35 a 15 nudos de acuerdo con DDS-582-1, y para maniobras de atraque en condiciones más severas, debería ayudarse de remolcadores o utilizar sus medios de propulsión (hélices de maniobra).

De esta forma, el buque dispondría de las estaciones de amarre de popa y centrales con sendos cabrestantes de accionamiento eléctrico que reunirían las siguientes características:

- Tiro de 7 toneladas a 15 m/min.
- Tiro de 3.5 toneladas a 30 m/min.

En la estación de amarre de proa el buque se serviría de los chigres de amarre que incorporarían los molinetes de anclas para desarrollar la maniobra de aproximación al muelle.

Obsérvese que la potencia del molinete necesaria para la maniobra de anclas es muy superior a la requerida para la citada maniobra de aproximación.

4.6.5 INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE LAS AMARRAS

Las amarras largas tienen una mayor capacidad de elongación. Esto significa una mayor capacidad de absorción de energía por deformación. Como resultado, permiten movimientos mayores del buque, pero se comportan muy bien frente a cargas dinámicas.

Por el contrario, las amarras cortas estiran menos, se cargan más y pueden romper bajo sollicitaciones súbitas debidas a los movimientos del buque.

Se debe procurar que las longitudes sean iguales en todas las líneas, con un mínimo de 35 a 50 metros según el tamaño del buque.

Las líneas del mismo servicio serán de la misma longitud. De esta forma, se cargarán con igual intensidad. Se entiende como “servicio” al conjunto de estachas

que limitan los desplazamientos del buque en una dirección determinada (traveses, largos o springs).

Al considerar la longitud de una amarra se tendrá en cuenta tanto el tramo exterior al buque como la longitud de amarra a bordo (de la gatera al chigre o bita) pues ambos tramos colaboran en su estiramiento a la absorción de energía.

Las amarras largas admiten una mayor deformación bajo la misma carga, por lo que la tensión que soportan es siempre menor, para la misma sollicitación, que la de las amarras cortas. [19]

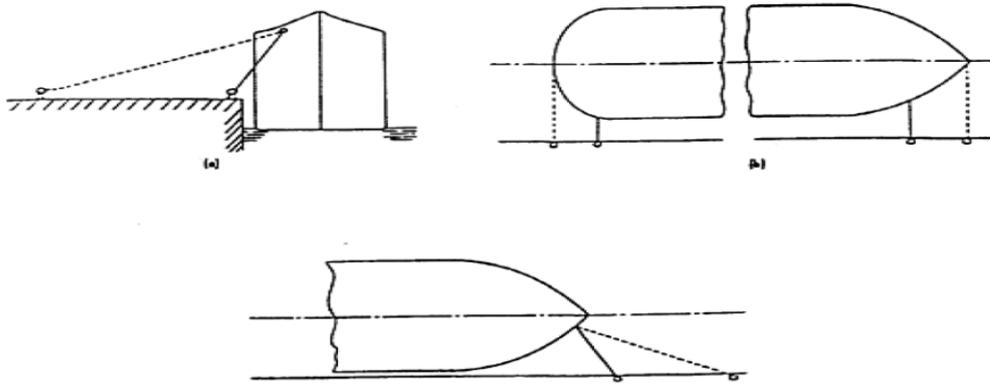


Ilustración 102: Formas de aumentar la longitud de las amarras (Fuente: CEDEX, 1990)

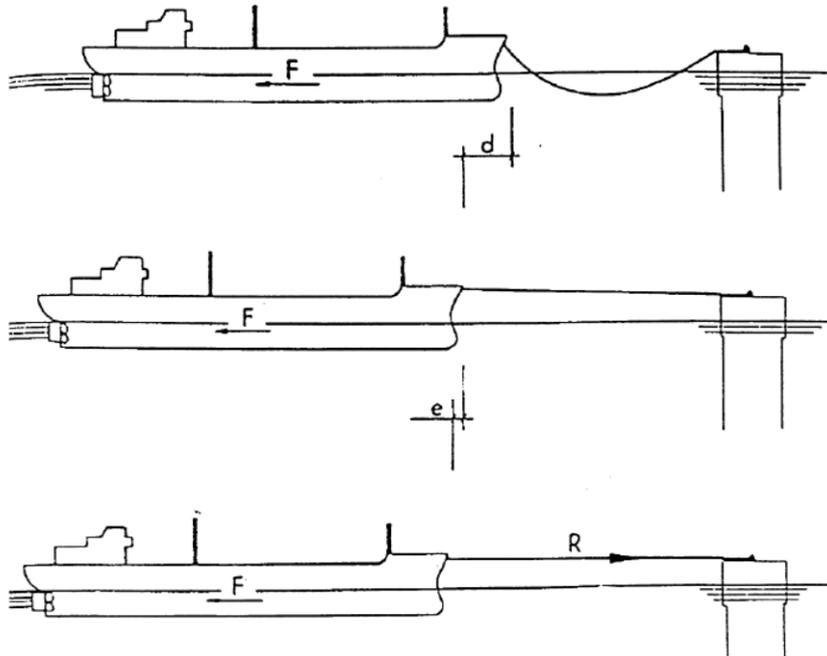


Ilustración 103: Buque acelerado por una fuerza F (Fuente: CEDEX 1990)

Haciendo balance de energías, puede estimarse el valor de R.

$$R = 3 \cdot F \cdot \left(t + \frac{d}{e} \right)$$

Si $d = 0$ el valor de R triplica al de F . Este es su valor mínimo, que ocurre cuando la estacha está tensa.

Si el valor de “ e ” (elongación de la amarra) es pequeño (cables, amarras cortas, etc.) y “ d ” es grande (amarras flojas), el valor de R puede resultar muy superior al de la fuerza de excitación.

Así pues, durante las guardias ha de extremarse la vigilancia de las estachas, manteniéndolas tensas ($d=0$), especialmente en el caso de amarras rígidas (cortas, o cables).

4.6.6 EFECTOS DE LOS AGENTES EXTERNOS SOBRE LAS ESTACHAS

El efecto del viento sobre el buque puede descomponerse en una fuerza longitudinal y otra transversal, siendo los parámetros influyentes, el área expuesta y el ángulo de ataque respecto a la línea proa-popa. La aplicación de ambas fuerzas determina un momento de giro, cuyo sentido dependerá del punto de aplicación sobre el buque, según cabeza y giro.

Por su parte, los efectos de la corrientes son del mismo tipo que los producidos por el viento, si bien presentan una mayor dificultad en su cuantificación, al intervenir un tercer condicionante en el momento considerado.

El efecto de las olas, hasta hoy poco considerado al tratarse de puertos abrigados a la mar, adquiere una nueva preponderancia al realizarse operaciones de carga en mar abierto, alejadas de socaires de la costa, que generalmente deben corregirse considerando la elasticidad de las amarras y la provisión de defensas especiales. [30]

La importante acción de los hielos en movimiento sobre el buque es de muy difícil determinación, si bien en los límites aceptables de hielo disperso, el control del amarre seguro puede lograrse con esprines adicionales.

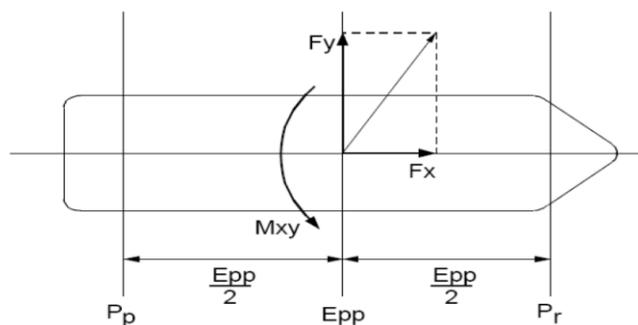


Ilustración 104: Fuerzas que debe soportar un sistema de amarre

En cuanto a la cuantificación de las fuerzas que puede soportar un determinado método de amarre, el planteamiento aceptado como clásico ha sido incrementado cuando se ha tratado del amarre seguro de los grandes buques, en los que los efectos de cualquier acción sobre ellos se ven multiplicados por causa del aumento sustancial de las superficies expuestas y las dificultades que representan para su control.

4.6.7 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE FUERZA RELACIONADAS CON LAS ESTACHAS

Las cargas a soportar por las estachas no deben superar el 55% de la carga de rotura de los cables (55% CR), siempre bajo el supuesto de su buen estado, conservación, mantenimiento y estiba adecuada, la disponibilidad simétrica e idónea de los puntos de amarre en las cubiertas de maniobra y número suficiente de alavantes, guías, gateras, etc.

Las maquinillas de maniobra tendrán una carga de trabajo no superior al 33% de la carga de rotura (CR) del cable, siendo la velocidad de carga en la primera capa de 1,5 m/s, pero siempre superior a 0,5 m/s, la carga mínima del freno será del 60% de la CR del cable, debiendo lascar antes de faltar si fuera superada. El número de capas disminuye la capacidad de aguante; puede decirse que si para una capa de capacidad es de 100%, al aumentar el número de capas a 5, la capacidad de retención se reduce al 70%.

El radio de los guíacabos será como mínimo 10 veces el diámetro del cable que conduce, mientras que para guías Panamá el radio aumenta a 12 veces el diámetro.

Sin embargo, un amarre seguro no solo dependerá del buque, sus amarras y equipamiento, sino también de las condiciones que presenten las instalaciones portuarias que deban acogerlos, por las que de ser deficientes representarían los puntos débiles de la seguridad estacionaria del buque, destacando de ellas las siguientes:

- Número suficiente de norays, bolardos, gancho de amarre. Evitar sobrecargas por número excesivo de amarras sobre ellos.
- Puntos de amarre en tierra separados entre 15 y 20 m para buques de tipo medio y de 35 a 50 metros para grandes buques.
- Los duques distanciados a distancias no superiores al 40%, ni inferior al 25% de la eslora de los buques que puedan recibir.
- Disponibilidad de defensas portuarias de acuerdo con las dimensiones de los buques y las condiciones meteorológicas que son habituales en la zona considerada.

4.7 PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO DEL EQUIPO DE AMARRE

4.7.1 GENERAL

Un buque medio generalmente incorpora un sistema de amarre que consta de dos áreas: proa y popa, provistas de adecuados elementos de amarre. Se disponen en ambas zonas suficientes elementos para asegurar el buque tanto por proa como por popa mediante un largo, un través y un spring.

Para la zona de proa, se suelen disponer de dos cabirones, asociados a cada uno de los molinetes de anclas. Para la zona de popa, se puede disponer de un cabrestante.

En la disposición y dimensionamiento de bitas y guías, se debe tratar de cumplir en la medida de lo posible con los tránsitos de Canal de Panamá y Canal de Suez.

Los elementos principales que conforman los equipos de amarre actualmente suelen ser los siguientes, todos ellos de acuerdo al plano de disposición de amarre y remolque del buque que se trate:

- Zona de Proa:
 - 2 cabirones asociados a los molinetes de anclas.
 - 1 guía cerrada en la proa (para maniobra de amarre y remolque).
 - Bitas dobles.
 - Guías de amarre en los costados.
 - Carreteles motorizados para líneas de amarre.

- Zona de Popa:
 - 1 cabrestante eléctrico o electrohidráulico.
 - 1 guía cerrada para maniobra de amarre y remolque.
 - Guías de amarre en los costados y a popa.
 - Bitas dobles.
 - Carreteles motorizados de estachas.

4.7.2 NÚMERO DE EQUIPO

Para definir las dimensiones principales de los elementos de fondeo y amarre, es decir: [117]

a) Número de anclas que debe llevar un buque.

- b) Peso de cada una de ellas.
- c) Longitud de cadena.
- d) Sección del redondo con que se construye la cadena.
- e) Número de cadenas o estachas que, como mínimo, debe llevar un buque.
- f) Características que definen la resistencia de las estachas o cables.

Las Sociedades de Clasificación, han preparado unas tablas cuyo parámetro es una cifra llamada “Número de Equipo”, que se obtiene por fórmulas empíricas en las cuales entran las dimensiones principales del buque. [123]

Cada Sociedad de Clasificación define el numeral de equipo por una fórmula propia, pero que prácticamente coincide en todas las SSCC. A continuación se transcribe la fórmula actualmente empleada por la mayoría de las SSCC:

$$N = \frac{2}{3} \cdot D + 2 \cdot B \cdot h + \frac{A}{10}$$

Donde,

D: desplazamiento de trazado en la flotación en carga en T.

B: manga de trazado, en metros.

h: franco-bordo en la maestra, más la altura de cada entrepuente de superestructura cuya manga sea superior a 0,25·B.

A: sección longitudinal del buque entre perpendiculares del casco y superestructura por encima de la flotación.

N: número.

4.7.3 CARRETELES DE AMARRE

Las estachas de amarre se suelen encontrar estibadas en los carreteles correspondientes cuando no se encuentren en uso. Debe existir un carretel, a poder ser motorizado, por estacha de amarre a bordo, y se dispondrán en las zonas de proa y popa. Los dos carreteles correspondientes a las estachas de amarre de reserva se estibarán en pañoles. La situación de cada uno de los carreteles estará de acuerdo al Plano de disposición de amarre y remolque del buque en cuestión.

Algunos astilleros consideran que el accionamiento hidráulico de los carreteles de estachas es la mejor solución para su funcionamiento motorizado. En el caso de los carreteles de proa se utilizará la propia HPU (unidad de potencia hidráulica) de los molinetes para los carreteles.

En popa se puede utilizar una unidad de potencia conjuntamente con el cabrestante o, si éste es eléctrico, se dispondrá una pequeña HPU sólo para los carreteles. Estos estudios se suelen posponer hasta recibir las propuestas de los suministradores de los equipos de fondeo y amarre.

El dimensionamiento de los carretes se realizará de forma que la estiba de las estachas no dañe las mismas y que cada carretel sea capaz de estibar la totalidad de la estacha. Se pueden emplear para el dimensionamiento del carretel las recomendaciones realizadas por el Grupo HER, según sigue:

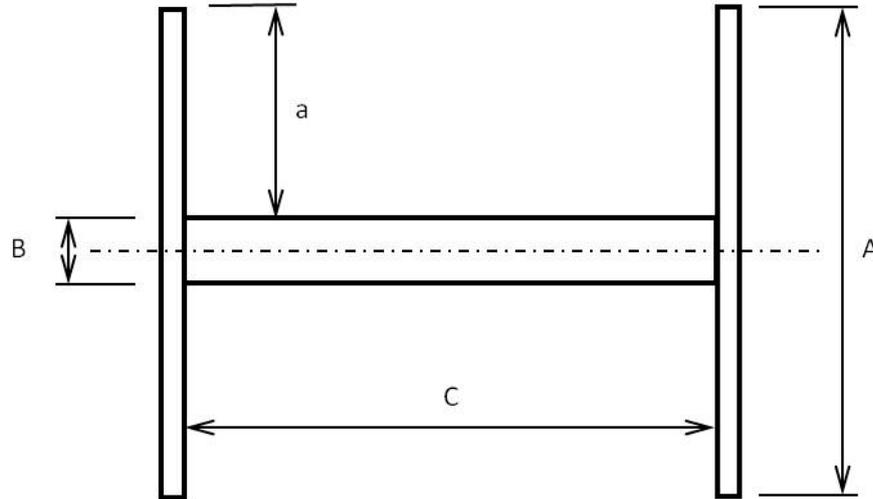


Ilustración 105

La capacidad de estiba del carretel (en metros) es la siguiente:

$$Q = (a \times C \times (B + a) \times \pi \times 0.9) / (d^2 \times 10^3)$$

dónde “a”, “B” y “C” son las dimensiones del carretel en milímetros (voy a estimar unos valores), según la figura, y “d” es el diámetro de la estacha (en este caso, 44 mm)

B: Diámetro interior: 230 mm.

A: Diámetro exterior: 760 mm.

a: Diámetro en la zona de estiba: 265 mm

C: Anchura del carretel: 1100 mm

La capacidad de estiba del carretel de acuerdo a la fórmula anterior es de 210 m. Esta capacidad es suficiente para la estiba de toda la longitud de la estacha de amarre.

4.7.4 CABRESTANTE Y CHIGRE

En los grandes buques especialmente en los supertanques, las maniobras de amarre no sólo se hacen con amarras de proa y popa, sino que también se dan cabos de través, generalmente cables metálicos, que arrollan en unos tambores de cabrestantes de eje horizontal, de accionamiento eléctrico, y que van ubicados en la cubierta principal.

El cabrestante, de eje vertical, puede tener las siguientes características:

- 5 ton - 15 m/min
- 2,5 ton - 30 m/min

Este cabrestante puede tener la posibilidad de doble uso (estacha y cable).

La Especificación de Contrato indicará sus características. Hoy en día se están haciendo electrohidráulicos. Algunos Astilleros consideran que los cabrestantes eléctricos ofrecen ventajas, sin que se sepa que hayan dado problemas de ningún tipo. Por este motivo, algunos Astilleros proponen que se acepte la posibilidad de utilizar cabrestantes eléctricos.

Se pueden estudiar conjuntamente los carretes motorizados de popa y el cabrestante, valorando las ventajas de un sistema hidráulico común, frente a un cabrestante eléctrico con carretes hidráulicos (manejo, mantenimiento, empacho...).

No obstante, los autores, como fruto de su experiencia en el campo de la fabricación, montaje y prueba de equipos navales de cubierta, y de acuerdo a las necesidades de clientes y reglamentos de las Sociedades de Clasificación, han determinado las condiciones que, a su juicio, se deben requerir a los equipos de maniobra, fondeo y carga/ descarga.

Siguiendo esta sistemática, a continuación se determinarán las normas prácticas aplicables al caso de cabrestantes y chigres. Estas normas de diseño son un ejemplo de mínimos de partida que evidentemente, pueden ser completadas. A falta de otras especificaciones dadas por el armador o sociedades de clasificación, las presentes serán las recomendadas para cubrir aspectos tales como; la confección de las Fichas de Especificación Técnica del equipo, necesarias para la petición de ofertas, la redacción de las Especificaciones Técnicas de Compra (ETC) de estos equipos, la realización de los Planos de Proyecto y finalmente la determinación de los Procedimientos de Pruebas a realizar.

4.7.4.1 HIPÓTESIS DE CÁLCULO

En el caso concreto de los cabrestantes se recomienda la consideración de las hipótesis de partida siguientes: [17]

1.- Debido a los frecuentes tirones a que están sometidos los cabrestantes, sus elementos mecánicos deberán resistir, de modo continuo y sin sobrepasar los límites de tensión admitidos en el diseño, una carga estática superior en un 50 % a la carga nominal de trabajo (S.W.L.).

2.- Estando el cabrestante en movimiento, sus elementos mecánicos deberán resistir durante 6.000 horas, de un modo continuo y sin rebasar los límites de

tensión admitidos en el proyecto, una carga dinámica intermitente de las siguientes características:

- Dos minutos el 150 % de la carga nominal.
- Un minuto al 50% de la carga nominal.

3.- El motor del cabrestante debe ser capaz de entregar, continuamente y durante una hora, la siguiente potencia:

$$P \text{ (C.V.)} = 0,23. T. V_s / \eta_t$$

siendo:

T = tracción en Toneladas.

V_s = velocidad de izada en m/ min.

η_t = rendimiento de la transmisión.

4.- Si el accionamiento es eléctrico; el motor del cabrestante deberá estar preparado para realizar 10 arranques en una hora y entregar durante 5 minutos una potencia superior en un 20 % a la potencia calculada en el apartado anterior.

5.- Si el accionamiento es hidráulico, la presión de trabajo del motor deberá ser como máximo el 70 % de la máxima admisible en continuo.

6.-La velocidad de recogida de la amarra, estando esta en tensión, no deberá ser inferior a 15 m/min., ni superior a 30 m/ min. Cuando se halle en vacío.

7.- Con el fin de evitar la fatiga prematura del cable, el diámetro mínimo del cabirón será al menos 30 veces el del cable a emplear, o en su caso 10 veces el diámetro de la estacha.

8.-Los rodamientos se calcularán para una vida efectiva de 5.000 horas de trabajo, a la carga y velocidad nominal. Disponiendo, al menos, de engrasadores tipo "Tecalemit" fácilmente accesibles.

9.- Los ejes y engranajes se calcularán a fatiga para una vida efectiva de 10.000 horas a la carga nominal de trabajo.

10.- El cabirón dispondrá de una claveta de seguridad en su unión con el eje. Esta claveta se cizallará cuando la carga a que sea sometido el cabrestante sea el triple de la nominal de trabajo.

11.- Si el accionamiento es eléctrico, se aconsejan motores de corriente alterna trifásica del tipo jaula de ardilla. Tendrán aislamiento clase F y calentamiento clase B. El grado de protección deberá ser (UNE 20324- CEI 144) IP-560 cuando vayan en cubierta, e IP-540 en los demás casos. Se aconseja el empleo de electro-frenos negativos.

12.- Todos los elementos susceptibles de oxidación deberán estar protegidos contra la corrosión mediante pinturas o tratamientos tales como el galvanizado, electro-cincado, etc. Un ejemplo de protección adecuado sería la aplicación del siguiente esquema de pintado:

- Superficies exteriores:
 1. Granallado SAE 2 1/ 2.
 2. Una capa de silicato de Zn de 35 micras.
 3. Una capa de Epoxi cromada de 50 micras.
 4. Una capa de imprimación de 40 micras.

- Superficies interiores:
 1. Granallado SAE 2 1/ 2
 2. Una capa de silicato de Zn de 50 11m

13.- Un aspecto a considerar por el astillero será el sistema de taqueado empleado, ello necesariamente deberá ser indicado, ya que de utilizarse el taqueado mediante resina epoxi, habitual en nuestros días, el equipo deberá contar con la superficie necesaria en su bancada que determinen unas cargas específicas admisibles.

4.7.4.2 ELECCIÓN DEL TIPO DE CABRESTANTE

Los cabrestantes tienen la ventaja de poder variar fácilmente el ángulo de tiro de la amarra. El motor es de accionamiento vertical (en los chigres es horizontal). Con el motor vertical queda más despejada la cubierta del barco, pero, por el contrario, se encarece la ejecución del polín y el montaje del equipo, a la vez que se dificulta el mantenimiento del motor.

Los chigres se utilizan en operaciones de carga y descarga.

Normalmente se emplean ejecuciones con dos cabirones, pudiendo ser estos de igual o diferente diámetro. Los modelos menores suelen llevar el motor en posición vertical, e interior al pedestal. A la vez se utiliza un cabezal superior giratorio, lo que permite orientar los cabirones.

Con relación al tipo de accionamiento los más empleados son el eléctrico y el hidráulico. El accionamiento hidráulico se utiliza en grandes ejecuciones por el reducido tamaño de los motores, o en equipos donde sea necesario disponer de un sistema de tensión constante. Aunque también se emplean motores lentos de alto par, lo más frecuente será la utilización de motores rápidos unidos a un reductor mecánico.

En cuanto al accionamiento eléctrico este presenta la desventaja de no poder permanecer parado en carga si no ha sido expresamente preparado para ello. Se emplea en cabrestantes pequeños, donde la economía del equipo unido a su facilidad de mantenimiento prevalece sobre las prestaciones.

Al tener el diámetro del cabirón un valor fijo, la velocidad de izada solo dependerá de las revoluciones del motor. Esto hace que en los cabrestantes, al contrario de lo que pueda ocurrir en un chigre con la acción del carretel, la necesidad de mantener constante la velocidad de izada no requiera la instalación de un accionamiento con posibilidad de variación de velocidad.

4.7.4.3 DIMENSIONES Y FORMA DEL CABIRÓN

El diámetro del cabirón debe ser tal que el cable o estacha no sufra al ser arrollado. En general se acepta que el diámetro de la garganta de este deba ser superior al valor dado por la expresión:

$$d_i \text{ (mm)} = 30 \cdot d_c \quad ; \quad d_i \text{ (mm)} = 10 \cdot d_e$$

siendo:

- d_c = el diámetro del cable en mm.
- d_e = el diámetro de la estacha en mm.

Por otra parte, para que el esfuerzo que tenemos que realizar sobre la parte libre del cable o estacha, se mantenga dentro de unos niveles razonables, el diámetro del cabirón debe aumentar a medida que lo hace el tiro del cabrestante. En la práctica se acepta como buena la siguiente expresión que relaciona ambos valores:

$$D = 100 \cdot T^{(0,75)} + 100$$

siendo:

- D = Diámetro de cabirón (mm)
- T = Tiro nominal del cabrestante (tons)

La anchura y forma de los cabirones depende mucho del fabricante del equipo. Normalmente tienen un 33 % más de altura que diámetro. Para los chigres podrá aplicarse la expresión que relaciona ambos parámetros:

$$H = D \cdot 0,7 + 100$$

siendo:

- H = anchura del cabirón (mm)
- D = diámetro del cabirón (mm)

4.7.4.4 RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

Como ha quedado dicho en el apartado anterior, normalmente los cabrestantes llevan un motor eléctrico o hidráulico unido a un reductor mecánico. Tendremos, por tanto que definir también las características del citado elemento.

Se define la relación de transmisión como el cociente entre la velocidad del motor y la velocidad del cabirón, es decir:

$$I = N_m / N_c = 3,14 \cdot D \cdot N_m / 1000 \cdot V_s$$

siendo:

- D = diámetro del cabirón (mm)
- N_m = revoluciones del motor
- V_s = velocidad de izada (m/min)

Si el accionamiento elegido es hidráulico, la velocidad del motor dependerá de su cilindrada y del caudal suministrado por la bomba que lo alimenta, es decir:

$$N = Q \cdot \eta_v \cdot 1000 / V_g$$

siendo:

- Q = Caudal de la bomba (l/ min.)
- η_v = Rendimiento volumétrico (0,8- 0,95)
- V_g = Cilindrada del motor (cm³)

Si es eléctrico la velocidad dependerá del número de polos del motor. En general podremos elegir entre valores de 750, 1.000, 1.500 ó 3.000 r.p.m.

4.7.4.5 POTENCIA REQUERIDA POR CABRESTANTE

Es la potencia nominal en el eje que debe tener el motor de accionamiento del cabrestante. Este valor dependerá de la velocidad de izada, de la tracción correspondiente a dicha velocidad y del rendimiento del conjunto. Deberemos pues determinar si el accionamiento va a ser directo o mediante reductora, y en consecuencia el rendimiento de esta transmisión. Da buenos resultados la fórmula:
[17]

$$P_c(\text{C.V.}) = 0,23 \cdot T(\text{tons}) \cdot V(\text{m/min}) / \eta_t$$

Siendo:

V, = Velocidad de izada (m/ min.)

T = Tracción (Toneladas)

η_t = Rendimiento de la transmisión.

Si la velocidad de izada no está ya fijada por el cliente, puede tomarse para cabrestantes de carga 15m/ min. y para cabrestantes de amarre 20 m/min. El rendimiento de la transmisión será el producto del rendimiento de la caja reductora por el rendimiento del cabirón.

El rendimiento de la caja reductora depende del número, geometría y tipo de engranajes de cada etapa de reducción. Si el accionamiento es directo, evidentemente, el rendimiento será uno. A falta de datos experimentales, y como aproximación, pueden tomarse como valores típicos de rendimiento los siguientes:

- Pareja de engranajes cilíndricos con relación de transmisión

$$i \leq 8: \eta = 0,95 - 0,90$$

- Pareja de engranajes cónicos con relación de transmisión

$$-i \leq 10: \eta = 0,90 - 0,85$$

- Pareja de engranajes corona-tornillo sin fin con relación de transmisión

$$i \leq 60 : \eta = 0,5 - 0,7$$

- El rendimiento del cabirón dependerá de su geometría. Oscilando entre 0,85-0,90

De acuerdo con lo expresado anteriormente el rendimiento aproximado de la transmisión se obtendrá como:

$$\eta_t = (0,92)^{n_1} \cdot (0,87)^{n_2} \cdot (0,55)^{n_3} \cdot 0,90$$

Siendo:

n1: n° de parejas de engranajes cilíndricos.

n2: n° de parejas de engranajes cónicos.

n3: n° de parejas de engranajes sin fin.

4.7.5 DIMENSIONAMIENTO DE BITAS Y GUÍAS

En este apartado se incluye el dimensionamiento de bitas y guías que se seleccionen.

Los escantillones de las bitas están fijados por las Sociedades de Clasificación en función del diámetro del cable; y a continuación expongo el cálculo de una de ellas colocada en un buque cuyo cable es de 37 mm de diámetro.

La carga de trabajo del cable son 22 t., que supondremos actúa en la bita. La fórmula que nos da el esfuerzo que debe oponerse a una tira de un cable que, pasando por una pieza circular, soporta un peso en el otro extremo es:

$$t = t_0 \cdot e^{(r \cdot \alpha)}$$

t y t_0 son las tensiones, $e = 2,7183$, $r =$ coeficiente de rozamiento, que con cables de acero engrasados $= 0,1$ ($= 0,3$ si es cáñamo) y $\alpha =$ ángulo de rozamiento del cable en radianes.

En nuestro caso, $\alpha = 218,94 = 218,94/57,3 = 3,8209$ radianes, y $\beta = 19,47$ radianes

El primer esfuerzo, como no pasa el cable por el centro de la bita, viene dado por:

$$T = 1,447 t_2$$

Se deben determinar los valores de las tensiones t hasta obtener una reducción aceptable, que puedan fácilmente soportarla uno o dos hombres en este caso 106 kg.

La suma total de estas tensiones, multiplicadas por el coseno del ángulo que forman con XX, y sumado este resultado con T , nos dará el esfuerzo cortante, que, dividido por el área de la sección de un brazo de la bita, nos da el esfuerzo cortante; luego

$$\tau = 2,326 \text{ kg/mm}^2$$

(Este valor puede llegar a ser 8 ó 10 kg/mm²)

Las alturas verticales relativas entre bitas y guías deben ser tales que una estacha a través de una guía pueda quedar aproximadamente paralela con la parte baja de la bita.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

Se pueden instalar bitas dobles de acuerdo a la norma ECI 201.16.50 de capacidad suficiente. Serán bitas de diámetro nominal 315 mm, con carga máxima permitida para amarre de 410 kN.

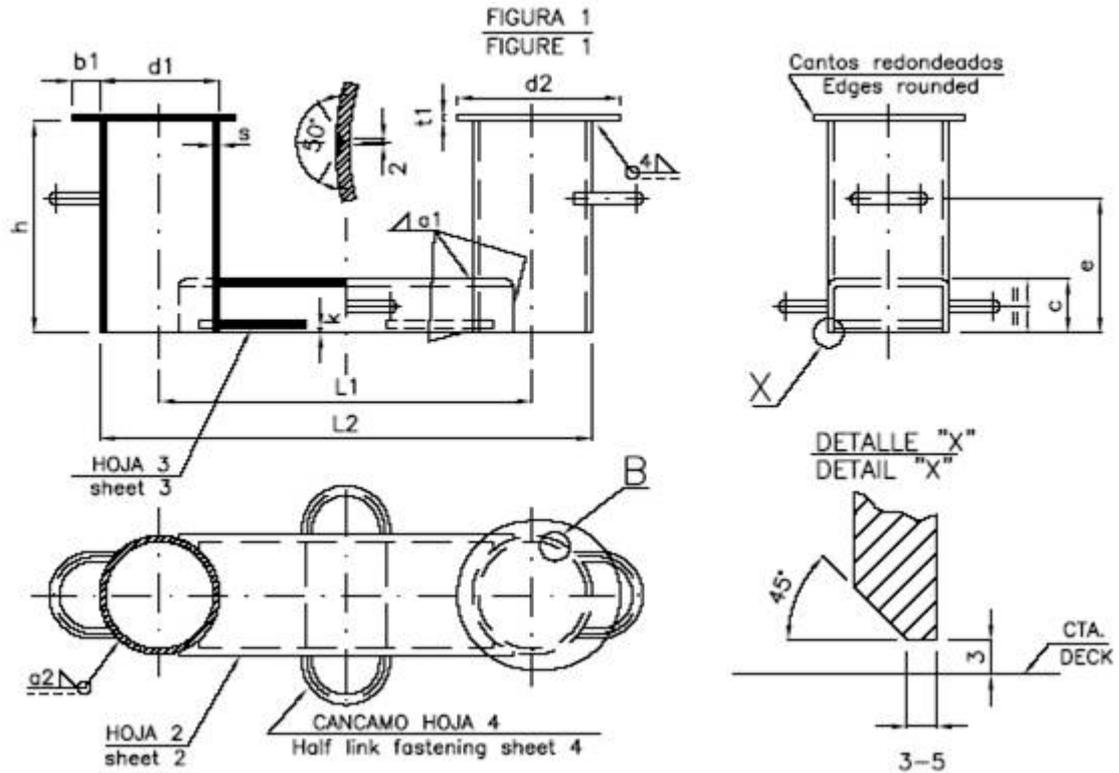


Ilustración 106: Norma ECI 201.16.50

Las características de la bita seleccionada, según la norma mencionada, podrían ser las siguientes:

Nº de bita	Diámetro nominal (mm)	Carga permitida amarre (kN)	Peso (kg)
005	315	410	230

Las dimensiones principales serían:

d1xa	a1	a2	b1	c	d2	e	h	k	l1	l2
324x16	6	8	48	150	390	375	600	15	800	1124

Con respecto a las guías, en las especificaciones de contrato de un buque se puede incluir que sean de rodillos. En la misma sección de la especificación, se suele indicar que en la medida de lo posible el buque contará con los elementos de amarre necesarios para el paso del Canal de Panamá. En la Reglamentación

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

de paso por el Canal, se especifica que las guías de rodillos sólo se aceptan en buques con una distancia desde la guía al agua de 15 m, valor bastante alto para un buque medio, como el que estamos proponiendo como ejemplo.

Actualmente los Astilleros suelen recomendar la instalación de guías convencionales similares a las utilizadas hasta la actualidad en los buques en lugar de guías de rodillos.

Por este motivo, se podrían hoy en día sustituir “Guías con rodillos cerradas en los costados” por “Guías cerradas en los costados”, para la zona de proa. Y sustituir “Guías de rodillos en los costados y a popa” por “Guías cerradas en los costados y a popa” en la zona de popa.

Por tanto, se podrían recomendar guías simples de acuerdo con el estándar ECI 201.17.50. Las estachas del caso que estamos estudiando tendrían una carga mínima de rotura de 371 kN, con lo que las guías adecuadas serían:

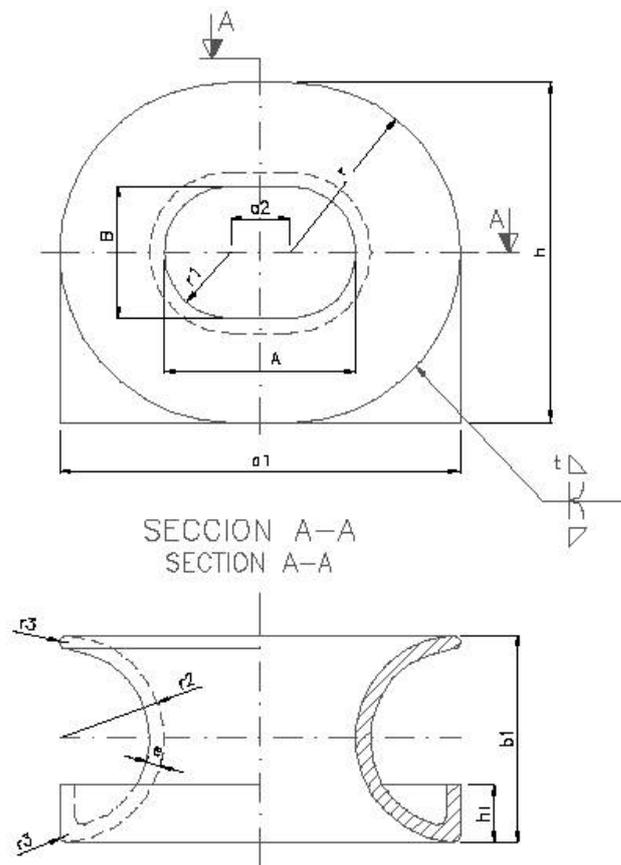


Ilustración 107

Nº Guía	A x B	Carga	a1	a2	b1	e	h	h1	r	r1	r2	r3	Peso	t
002	331 x 229	45 Tn	691	102	360	25	589	100	294,5	114,5	180	12,5	180 Kg	8

4.7.6 DISPOSICIÓN DE ZONA DE AMARRE DE PROA Y POPA

La situación de bitas y guías para efectuar las maniobras de amarre se fabricarán según el plano de Disposición de amarre y remolque, que generalmente contará con:

- a) Zona de amarre de popa

Para determinar la disposición de las bitas y guías en la zona de popa, se debe tener en cuenta la compatibilidad tanto en situación como en operación de dichas bitas y guías con todos los equipos de la cubierta de trabajo.

- b) Zona de amarre de proa

En la zona de amarre de proa se dispondrán tres guías con sus correspondientes bitas en cada uno de los costados, de acuerdo con el plano de Disposición de amarre y remolque del buque en cuestión.

4.7.7 REQUISITOS DE PASO POR EL CANAL DE PANAMÁ

Se va a emplear como referencia para el estudio de los equipos de amarre y remolque el Reglamento para la Navegación en Aguas del Canal de Panamá.

Los requisitos que deben cumplirse con relación a la construcción, número y ubicación de guías y bitas, son:

- Las guías para los cables de remolque deberán ser de construcción fuerte y cerrada, con superficie de apoyo convexa de un radio no menor de 180 milímetros. La superficie convexa deberá extenderse de manera que desde la bita o desde el buque remolcador, el cable pase por la bita tangencialmente al radio de 180 milímetros, a cualquier ángulo hasta 90 grados con respecto a una línea recta que atraviesa la gatera.
- Las guías que se designen como simples deberán tener una boca de una abertura no menor de 650 cm². Las dimensiones óptimas son de 305 x 230 milímetros y deberán ser capaces de resistir una carga del cable de remolque de 45 t, desde cualquier dirección.
- Las guías que se designen como dobles deberán tener una boca con una abertura no menor de 900 cm². Las dimensiones óptimas son de 355 x 255 milímetros y deberán ser capaces de resistir una carga del cable de remolque de 64 t, desde cualquier dirección.
- Cada guía simple estará acompañada de una bita capaz de resistir una carga de 45 t.

- Cada guía doble situada en popa y proa tendrá dos pares de bitas pesadas, y cada bita de cada par deberá ser capaz de resistir una carga de 45 t. Otras guías dobles deberán tener un par de bitas pesadas, y cada bita será capaz de resistir una carga de 45 t.
- Los buques con una eslora de 60,96 a 121,92 metros y cuya manga no sea mayor de 22,86 metros deberán tener una guía doble en la proa y en la popa, o dos guías simples en la proa y en la popa a babor y a estribor, a una distancia no mayor de 2,5 metros hacia atrás de la proa o a 3 m hacia adelante de la popa, y a una distancia no mayor de 3 m de la línea de crujía. Deberán tener, además, dos guías simples adicionales a babor y a estribor a una distancia de 9 a 16 m hacia atrás de la proa, y de 9 a 16 m hacia adelante de la popa.

4.7.7.1 COMENTARIOS A LOS REQUISITOS DE PASO POR PANAMÁ

Si tomamos como ejemplo un patrullero de altura, se cumplen en gran parte los requisitos especificados para el tránsito por el Canal de Panamá. Este cumplimiento o incumplimiento para cada uno de los requisitos, se especifican a continuación:

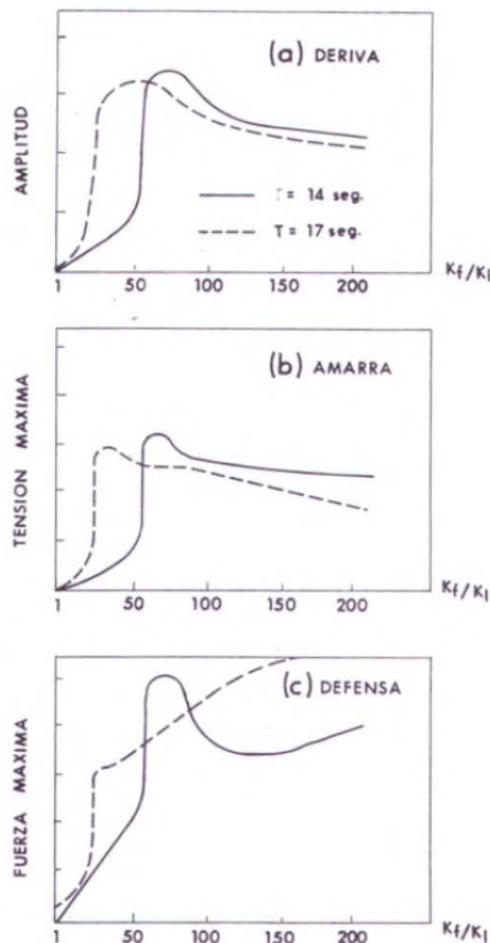
- Las guías definidas para el amarre (ECI 201.17.50-002), tienen que tener un radio de la superficie convexa de 180 mm, igual que el valor requerido.
- Las guías definidas para el remolque (ECI 201.17.54-003.), tienen que poseer un radio de la superficie convexa de 200 mm, mayor que 180 mm, valor requerido.
- Las guías definidas para el remolque (ECI 201.17.54-003), deben estar provistas de una boca de abertura de 600 x 450 mm. Esta dimensión supera la requerida por la reglamentación en estudio.
- Ambas guías de remolque se deben encontrar situadas en la línea de crujía, posición en principio recomendada por el Reglamento de Navegación por el Canal de Panamá.
- Las guías situadas en ambos costados en la zona de amarre de popa, se deberían encontrar entre 9 y 16 m de popa. Esta distancia es excesiva para el caso del patrullero (interferiría con la estructura), y las guías se encuentran más próximas a popa.
- Según el Reglamento deberá tener, además, dos guías simples adicionales a babor y a estribor a una distancia de 9 a 16 m hacia atrás de la proa. En el caso del patrullero, las guías se encuentran distribuidas en ambos costados cumpliendo este requisito.

4.7.8 ELECCIÓN DE LAS DEFENSAS

- Las defensas constituyen un factor importante en el amarre. No son sólo una protección del forro del buque frente al muelle, sino que junto con las amarras forman el sistema integrado de amarre. Las características relativas de ambos elementos definirán el comportamiento del buque amarrado y su respuesta frente a las acciones exteriores.
- La primera función de las defensas es proteger al buque y al muelle en el primer impacto de la maniobra de atraque. Es la exigencia fundamental para su diseño y cálculo. Se valora desde este punto de vista la capacidad de absorción y disipación de energía, la fuerza de reacción sobre el casco y la deflexión experimentada.
- Posteriormente, durante la estancia del buque en el puesto de amarre, las defensas tienen una segunda misión de protección. Se suele olvidar frecuentemente su participación en la respuesta del buque, tan importante como la de las amarras. Aquí habría que considerar su rigidez, su curva característica de deformación y sus coeficientes de fricción horizontal y vertical
- Las dos condiciones anteriores son contrarias. En el impacto interesan unas defensas "duras", que absorban gran cantidad de energía. En la segunda situación, por el contrario, interesan defensas "blandas", que reduzcan las fuerzas sobre amarras y defensas y colaboren a reducir los movimientos del buque.
- El sistema integrado de amarras y defensas presenta el mejor comportamiento cuando ambos elementos tienen rigideces comparables. Si las amarras son "blandas" y las defensas "duras", como es habitual, el movimiento de deriva tiene gran amplitud, con fenómenos de impacto-rebote de periodos 3 a 5 veces los de la ola de través.
- Por el contrario, con rigideces semejantes se reducen los recorridos, y el periodo de oscilación se acerca al de las olas.
- Si a un sistema de defensas duras se le colocan amarras rígidas (cortas, cables, gran número de amarras, pretensión) los recorridos se reducen hasta diez veces, manteniéndose unas fuerzas importantes en el sistema. En este caso, el periodo natural de oscilación será corto.
- Al contrario, si con amarras elásticas (fibra natural o sintética) se utilizan defensas blandas (neumáticas, rellenas de espuma, etc.), los movimientos pueden reducirse también décima parte, pero las fuerzas en el sistema se rebajan hasta veinte veces. Habrá que tener en cuenta en este caso que el periodo natural de oscilación se alarga, pudiéndose producir fenómenos de resonancia con ondas largas.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- También ha de contarse con la fricción, que puede colaborar de forma importante a frenar los movimientos horizontales. El sentido vertical, en cambio, interesa reducirla, para permitir que el buque suba y baje siguiendo a la marea o al variar su condición de carga. Este aspecto obliga a disponer defensas de gran resistencia a esfuerzos de cizalla.
- Se demuestra que las mejores defensas son, en general, las hidráulicas de rigidez ajustable para las dos situaciones mencionadas, con buen comportamiento frente al impacto, alta capacidad de absorción y disipación de energía, que reducen mucho los movimientos y amortiguan de forma importante la influencia del movimiento subarmónico.
- El sistema óptimo consiste pues en amarras y defensas de rigidez semejante. Ello se obtiene, bien disponiendo defensas blandas (neumáticas, rellenas de espuma o hidráulicas) o rigidizando las amarras (aumentando el número, utilizando cables, reduciendo los ángulos, pretensionando). Dentro de esta situación, interesa un sistema de amarras defensas "blando" y con amortiguación, para reducir al máximo las fuerzas y movimientos. [19]



K_f = Constante elástica de las defensas.

K_l = Constante elástica de las amarras.

Ilustración 108 (Fuente: CEDEX 1990)

Se comparan en estas curvas las amplitudes de deriva y las cargas sobre amarras y defensas en modelo sometido a olas de través, para diferentes rigideces relativas de las líneas de amarre y defensas. Como vemos, todos los parámetros se hacen muy pequeños para rigideces semejantes, alcanzando en cambio valores muy grandes cuando la rigidez de las defensas es superior a la de las amarras. (New Mooring System to reduce Ship Motions and berthing Energy» Sawaragi et al. Coastal Engineering in Japan, 1984). [99]

MOVIMIENTO DE DERIVA DE UN BUQUE BAJO LA ACCION SIMULTÁNEA DE AMARRAS Y DEFENSAS:

1. El buque se mueve acelerado por fuerzas ocasionales, debidas a seiches, ráfagas de viento o corrientes irregulares. [102]
2. La estacha se tensa y frena al buque.
3. Al alargarse la amarra, la energía cinética del buque se convierte en energía de deformación de la amarra.
4. Una vez absorbida toda la energía, el buque se detiene y la amarra deja de estirarse.
5. La elasticidad de la amarra reacciona sobre el buque y la energía almacenada se devuelve acelerándolo.
6. Hasta que la amarra recupera su longitud inicial, acelera el buque contra el muelle.
7. El buque se mueve hacia el muelle, mientras otras fuerzas ocasionales actúan sobre él.
8. La energía cinética del buque se transforma en energía de compresión de la defensa.
9. Una vez absorbida la energía, el buque se para y la defensa deja de deformarse.
10. La energía almacenada en la defensa es devuelta al buque, acelerándolo hacia afuera.

4.7.9 RECOMENDACIONES GENERALES

Las recomendaciones que se expondrán a partir de este momento tienen como metas:

- Limitar los movimientos del buque dentro de unos márgenes preestablecidos, fijados fundamentalmente por el método de carga y descarga.
- Elegir y disponer un sistema de estachas y defensas eficaz para absorber las fuerzas actuantes y mantener la posición del buque en los límites prefijados.
- Obtener una distribución homogénea de las cargas aplicadas sobre todo el sistema de amarras y defensas, para evitar roturas y sobrecargas indeseables.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

De cara a conseguir estos objetivos, habrán de seguir en la medida de lo posible las normas de carácter general que a continuación se enumeran:

- Se utilizará, dentro de lo posible, el mismo *material* en todas las líneas de amarre, siendo deseable conocer el comportamiento de éste (rigidez, deformaciones, vida útil, facilidad de manejo) de cara a obtener el máximo rendimiento de las amarras.
- Se elegirá la *longitud de las líneas de amarre* teniendo en cuenta que las amarras largas dan una mejor respuesta ante fenómenos dinámicos (cargas rápidamente variables) en tanto que las cortas limitan más el movimiento, a costa de una mayor sobrecarga. Las amarras cortas proporcionan un mejor comportamiento desde el punto de vista estático.
- Se dispondrán *líneas de amarre eficaces*. La eficacia de una amarra se mide por la fuerza resistente que proporciona en una dirección dada con relación a su carga de trabajo.
- Para aumentar la eficacia, se dispondrán, en primer lugar, amarras alineadas con el desplazamiento a limitar. Ello conlleva la determinación cuidadosa del punto de salida del buque y los ángulos de la amarra con la horizontal y la vertical. En segundo lugar, se dispondrán amarras tensas, que trabajen de forma permanente, evitando siempre las amarras sueltas.
- Se dispondrá el conjunto de las líneas de amarre con una *distribución simétrica* respecto al centro del buque, a los bolardos y las defensas. Con ello se busca, en primer lugar, obtener un reparto homogéneo de las cargas entre todas las amarras. Y en segundo lugar, reducir los acoplamientos entre movimientos, esto es, que movimientos en una dirección provoquen otros diferentes (vaivén o deriva que inducen guiñada, etc.).
- Debe darse a las *defensas* la importancia que tienen en el conjunto del sistema de amarre, eligiéndolas y disponiéndolas con conocimiento de la influencia que tienen en el movimiento del buque. Esto lleva a instalar defensas de rigidez semejante a la de las amarras de los buques, que al mismo tiempo tengan un buen comportamiento frente al primer impacto del buque.
- Las neumáticas, de caucho y espuma, pueden considerarse "blandas", y darán buen resultado durante la estancia del buque en puerto, mientras las de gravedad y los pilares flexibles son "duras" y serán eficaces en el primer impacto.
- Se deben *inspeccionar* con frecuencia las líneas de amarre para mantener su eficacia (posición y tensión) a lo largo del tiempo en las diversas situaciones de marea, viento, carga, etc.
- Se proporcionarán a las amarras y equipos de amarre los cuidados de *mantenimiento* necesarios para conservarlos en buen estado, reponiendo las estachas y cables con la periodicidad necesaria o cuando su deterioro lo requiera.
- Se deben investigar las *fuerzas actuantes* (viento, corriente, marea, olas, seiche, paso de otros buques, carga, etc.) y evaluar su orden de magnitud y su

distribución en el tiempo para disponer un sistema de amarras efectivo.

4.8 INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE AMARRE

4.8.1 DIRECTRICES GENERALES E INSPECCIÓN DEL AMARRE

La consideración de los principios de distribución de la carga de un buque nos conduce hacia las siguientes directrices en cuanto al amarre. Éstas asumen que el buque atracado puede estar expuesto a fuertes vientos o corrientes de cualquier dirección.

- Las líneas de amarre deben estar dispuestas tan simétricamente como sea posible cerca de la zona central del buque. (Una disposición simétrica es más probable que asegure una buena distribución de carga que una asimétrica)
- Las líneas a través deben estar orientadas tan perpendicular como sea posible a la línea central longitudinal del buque y lo más a proa y popa posible.
- Las líneas esprín deben estar orientadas tan paralelamente como sea posible al eje longitudinal central del buque.

Las líneas a proa y popa no son normalmente eficientes en retención del buque en su amarradero. Las instalaciones de amarre con buenas líneas esprín y través permiten al buque un amarre más eficiente, virtualmente “dentro de su propia eslora”. El uso de líneas en cabeza y popa requiere dos amarres adicionales y disminuye la eficiencia total de retención de una distribución de amarre cuando el número de líneas es limitado. Esto es debido a que su longitud, y consecuentemente mayor elasticidad y peor orientación. Esto solo debería ser usado cuando así lo requiera la maniobra o donde así sea necesario por la geometría del puerto, fuerza de las olas o condiciones meteorológicas. Pequeñas embarcaciones atracadas en instalaciones diseñadas para grandes buques pueden tener líneas a proa y popa por la geometría del muelle.

- El ángulo vertical de las líneas de amarre debe mantenerse al mínimo.

Cuanto más plano sea el ángulo de amarre, más eficiente será la línea en cargas aplicadas horizontalmente en el buque.

Una comparación de los casos 1 y 3 en la figura demuestra que un buque puede normalmente amarrarse más eficientemente dentro de su propia eslora. Aunque se use el mismo número de líneas en cada situación, el caso 1 resulta una mejor distribución de cargas, minimizando la carga en una línea en concreto.

- Generalmente, las líneas de amarre del mismo tamaño y tipo (material) deben ser usadas para todas las cargas. Si esto no es posible, todas las líneas del mismo servicio (por ejemplo traveses, esprines, etc.) deben ser el mismo tamaño y tipo. A modo de ejemplo, todos los esprines podrían ser cable y los traveses fibra sintética.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- Empalmes sintéticos se usan a menudo en los extremos finales de los cables para permitir un manejo más fácil y para aumentar la elasticidad de la línea. Los empalmes pueden también ser usados para aumentar la elasticidad de cabos hechos de polietileno con alto módulo de rigidez.
- Si se realizan empalmes deben ser del mismo material y tipo en todas las líneas del mismo servicio. El efecto de añadir 11 metros de empalme, hechos de polyester y poliamida, a cable de acero y líneas de amarre HMPE se muestra en el siguiente gráfico. Debe notarse que los empalmes más largos tienen un impacto significativo en la elasticidad del conjunto.

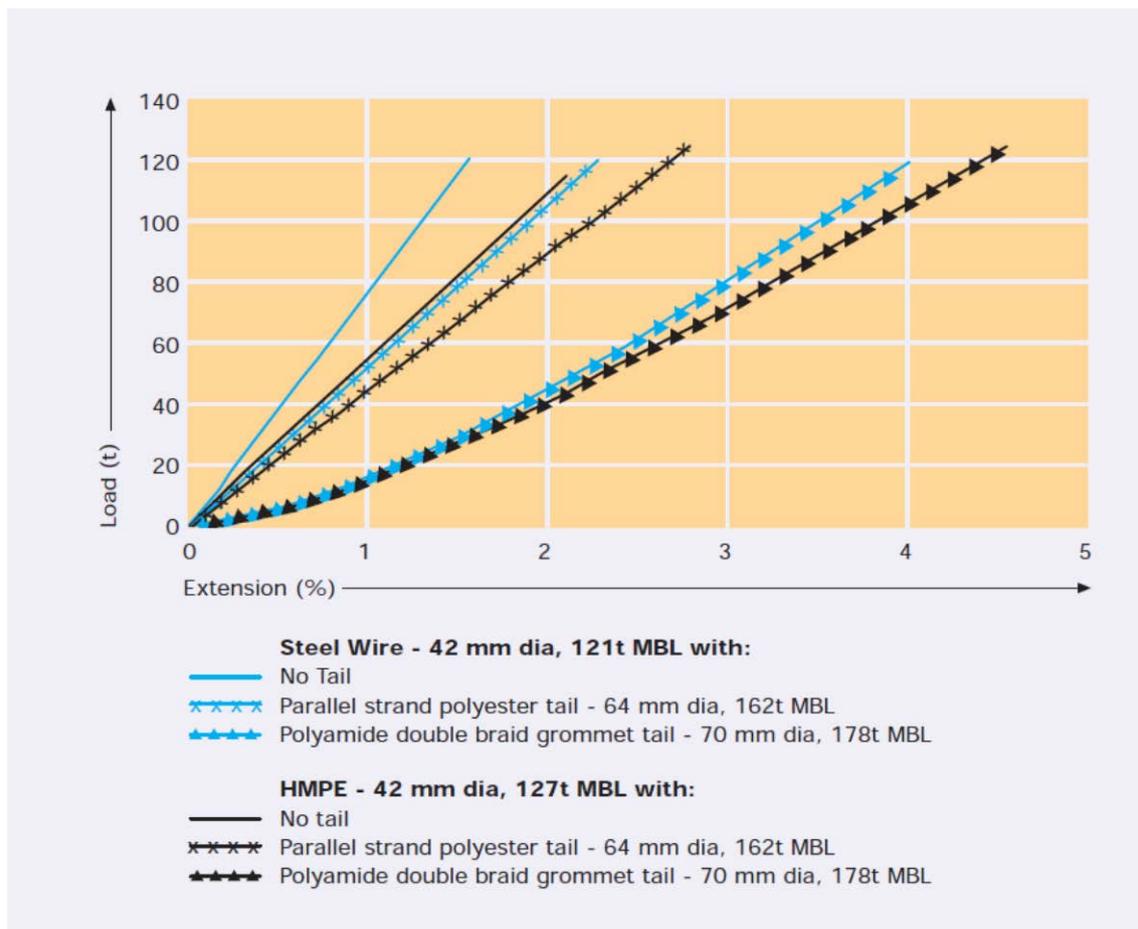


Ilustración 109 (Fuente: Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition)

Todas las recomendaciones anteriores deben cumplirse desde el principio de la maniobra de atraque (elección de bolardos y guías adecuados, tensionado de amarras, etc.). Las modificaciones posteriores serán molestas y llevarán más tiempo. La experiencia dice que pocas veces se modifica un amarre una vez terminado, aunque no esté bien realizado.

Deberán evitarse en todo momento las amarras sueltas (“en banda”), absolutamente ineficaces como ya se ha comentado e incluso peligrosas. En efecto, permiten una mayor amplitud de movimiento de la prevista, y como resultado, son mayores las cargas dinámicas (tirones, aplastamiento de defensas, etc.) que provocan roturas o deterioro del material. Además, al romperse la

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

simetría del sistema las fuerzas se reparten de manera irregular, lo que acelera el proceso de movimiento-tirones-rebote-movimiento.

Una vez terminada la maniobra de atraque, se deberán revisar las amarras, tensando las que hayan quedado sueltas, de forma sistemática y simétrica, y dejando el buque en contacto con las defensas.

Esta inspección y corrección se llevara a cabo de forma periódica, teniendo en cuenta los cambios en la situación del amarre (marea, carga, viento, oleaje, etc.). Especial interés tiene la revisión al final de la jornada, ya que de noche se cuenta con menos personal y mayores dificultades para corregir la situación.

Se revisarán con especial atención las amarras cortas y cables de amarre, pues su menor capacidad de elongación los hace propensos a la rotura en el caso de tirones.

El buque se mantendrá siempre en contacto con las defensas, para restringir la deriva, actuando sobre la tensión de las amarras. Si por causa del viento, corriente, etc. el buque comprime en exceso las defensas, se relajarán las amarras, pero sin llegar a dejarlas sueltas en ningún momento.

El objetivo de una buena disposición de amarre a bordo es proveer y organizar el equipo para conseguir lo siguiente:

- Obtener una configuración eficiente de en amarres convencionales y duques de alba.
- Facilitar un amarre, desamarre y tendido de estachas seguro y rápido, con demanda mínima de mano de obra.
- Facilitar amarre seguro y eficiente por anticipado en terminales no convencionales como SPMs (amarres en punto único) y MBMs (amarres multiboya).
- Hacer posible un eficiente y seguro manejo de remolcadores
- Permitir de manera segura y eficiente otras operaciones comunes como manejo de mangueras y amarre a barcasas.
- Dar cabida de manera segura y eficiente a operaciones como operaciones de transferencia buque a buque o tránsito por canales.
- Proveer para situaciones de emergencia como requerimientos de duplicación de líneas por viento fuerte, remolque de emergencia de buques sin gobierno, o fuegos a bordo que requieren que el buque sea remolcado.
- La primera preocupación en el plan de amarre abordado es la posibilidad de amarrar en muelles y duques de alba. Este es el requerimiento más común. Los principios para una operación de amarre seguro y eficiente pueden resumirse como sigue:

1. Las disposiciones de amarre deben ser simétricas.
2. Los traveses deben ser tan perpendiculares a la línea central longitudinal del buque como sea posible.

3. Los esprines deben ser tan paralelos a la línea central del buque como sea posible
4. Las líneas de amarre en el mismo servicio deben tener aproximadamente la misma longitud entre el la maquinilla del buque y los puntos de amarre portuarios.
5. Los esprines deben ser tan paralelos a la línea central del buque como sea posible

Además de los principios anteriores, las siguientes directrices deberían tenerse en consideración al establecer el equipo de amarre:

- Mantener las áreas de amarre tan libres como sea posible
- Realizar las operaciones de amarre lo más lejano posible a proa y popa
- Colocar guías en proa y popa en los puntos más extremos posibles y lo más bajo que el buque permita
- Establecer las guías de las líneas esprín lo más a proa y popa que sea posible en la cubierta principal para conseguir longitudes adecuadas a los puntos de amarre en puerto.
- Tensionar lo necesario para una correcta alineación de guías y tambores de las maquinillas
- Colocar las maquinillas de forma que se obtenga una visión clara de las operaciones de amarre y del oficial en cargo del amarre
- Las líneas de amarre en el mismo servicio deben tener aproximadamente la misma longitud entre el buque y sus puntos de amarre.
- Todas las líneas de amarre deben ser capaces de funcionar en ambos lados del buque

4.8.2 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE AMARRE

Los principales fenómenos que puedan dañar a los cables y estachas son los siguientes: [127] [128]

- Enrollamiento: al enrollar los cables o estachas sobre un carretel, las amarras se ven sometidas a esfuerzos de flexión de valor $E \cdot d/D$, donde “d” es el diámetro de la amarra y “D” es el diámetro del carretel. Por ello, si “D” es pequeño, el esfuerzo de tensión crece de forma importante, especialmente en los cables con diámetros más pequeños. El resultado es la estricción local de la amarra, que aumenta el riesgo de rotura. Para evitar este fenómeno, se recomienda utilizar carreteles de diámetros altos, en torno a 20-30 veces de diámetro del cable.
- Aplastamiento: el aplastamiento de las amarras da lugar al cambio de la posición relativa de los cordones, lo que provoca una fuerte pérdida de la resistencia a flexión. Se recomienda, por tanto, elegir equipos dimensionados de acuerdo con las amarras, que permitan su paso sin forzarlas. Igualmente, debe permitirse un recorrido limpio a las estachas y cables, sin tropiezos en cantos, barandillas, etc.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- **Abrasión:** la abrasión es la pérdida de material en superficie a causa del roce. El efecto inmediato es la pérdida de resistencia de la amarra y el aumento del riesgo de rotura.
- **Corrosión:** la acción química de ciertas sustancias, y en particular, del ambiente salino combinado con la luz solar, da lugar al desgaste de las estachas, con la consiguiente pérdida de resistencia. La defensa ante este fenómeno es el recubrimiento de las superficies sensibles, en el caso de los cables, con revestimiento de zinc o la lubricación. Las estachas no admiten este tipo de tratamientos, por lo que debe reducirse al mínimo la acción ambiental, guardándolas secas y protegidas del agua salada y del sol.

En general, se recomienda vigilar periódicamente las amarras a fin de detectar la posible rotura de hilos o cualquiera de los fenómenos anteriores. Deben renovarse aquellas estachas que presenten cordones rotos, evitando anudarlas. Igualmente, deben sustituirse los cables que muestren más del 20% de los hilos rotos, o bien una reducción del 10% del diámetro en el cable o un 40% en algún cordón.

Se revisará también el estado del equipo de amarre, evitando bordes cortantes en las gateras y poleas, superficies abrasivas en los tambores y carretes y curvaturas pronunciadas en los cables o estachas.

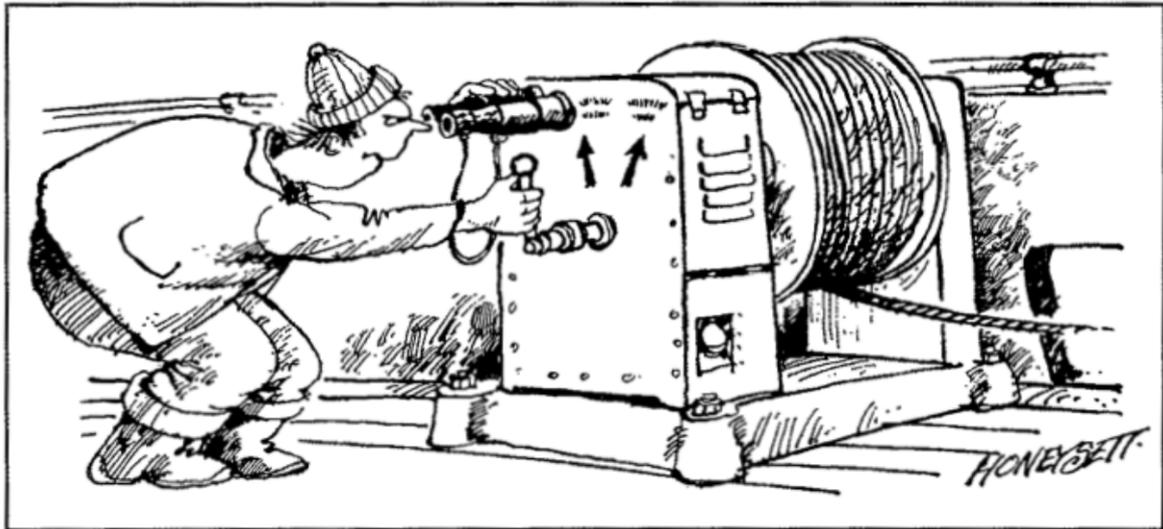
Se evitará arrastrar cables y estachas por superficies rugosas y rozar con bordes agudos, para impedir la rotura de los hilos y prolongar su vida. Por la misma razón, se evitarán los nudos en las estachas, que las debilitan fuertemente y no se mezclarán en el mismo bolardo, bita o guía, estachas con cables, para evitar los aplastamientos, abrasiones y cortes en aquellas.

Las amarras deberán estibarse a cubierto, en pañoles o bajo lonas, para evitar en lo posible los efectos de la salinidad, la humedad y la radiación solar. Las estachas de fibra natural deberán secarse antes de ser almacenadas, para impedir la aparición de moho.

Se debe impedir el contacto de las amarras sintéticas con fuentes de calor, que pueden dañarlas definitivamente o, en cualquier caso, rebajan su resistencia.

Se verificará también de forma periódica el estado de las defensas, de modo que restrinjan el desplazamiento del buque hacia el muelle y amortigüen su movimiento sin causar daños al casco. Se examinará su grado de deterioro en cuanto a aplastamiento y cizalla, reparándose o reponiéndose si no cumplen su función con eficacia.

Las maquinillas usadas para el amarre, cabrestantes, chigres, estachas de amarre y accesorios y aparejos de amarre, han de ser correctamente mantenidos y sometidos a mantenimiento periódico tal como esté especificado en el sistema de mantenimiento planificado.



“...ensure controls are clearly marked”

Ilustración 110

El mantenimiento rutinario debe incluir inspecciones visuales de todos los equipos con regularidad, el engrasado de las toberas de engrase en la maquinaria móvil y en los rodillos de guía-cabos y en los guía-cabos de peana. Los engranajes y embragues expuestos deben también ser adecuadamente engrasados con un compuesto apropiado.

Los frenos tienen que ser examinados cuidadosamente para asegurar que todas las articulaciones están funcionando correctamente, que el espesor del material de la banda de freno es adecuado y el estado de las zapatas de freno es satisfactorio. Los embragues deben operar suavemente, y las clavijas de sujeción de los embragues deben estar colocadas en las palancas de control del embrague listas para su empleo.

Las palancas de control de las maquinillas tienen que estar marcadas indicando la dirección de operación para soltar y retirar.

Los extremos de los tambores deben ser mantenidos libres de daños, oxidación y pintura, y las bancadas de la maquinaria deben ser examinadas periódicamente buscando deterioro o daños.

Se debe asegurar que todos los guía-cabos de amarre estén girando libremente mostrando superficies libres de oxidación o daños que pudieran desgastar por roce las estachas de amarre.

Se debe comprobar cuidadosamente la integridad de todos los equipos de amarre tales como bitas, cáncamos y sondalezas.

Antes de comenzar las operaciones de amarre, los equipos deben ser examinados visualmente buscando defectos, y el funcionamiento de la maquinaria verificada. Todo equipo defectuoso se retirará del servicio.

4.8.2.1 INSTRUCCIONES RELATIVAS A LA SEGURIDAD. MAQUINILLAS / MAQUINILLAS DE AMARRE

1. SIEMPRE, durante su manejo llevar puestos zapatos de seguridad, mono de trabajo y casco de seguridad con cinta para la barbilla.
2. SIEMPRE, respetar una distancia de seguridad con respecto a la estacha o cable, cuando están bajo carga.
3. SIEMPRE, llevar puestos guantes de seguridad durante los trabajos con cables o estachas.
4. NUNCA, situarse dentro del lazo de una estacha o cable.
5. NUNCA, dejar funcionando una maquinilla sin vigilancia.
6. NUNCA, accionar la maquinilla, si todas las personas que participan no se encuentran en nuestro campo de visión desde el puesto de mando.
7. NUNCA, no intentar calcular la tensión de la estacha o cable dándole una patada o poniéndose encima, el intento no tiene sentido y además es peligroso.
8. NUNCA, guiar estachas sintéticas sobre el tambor o bolardos con ángulos no admisibles. Además de los daños en la propia estacha, debido a la fricción sobre el tambor o carretel o sobre el bolardo de la estacha podría quemarse. En estado de carga, existe el peligro de que la estacha se suelte de forma repentina y con ello se produzca un peligro de herir al personal de manejo del molinete.
9. NUNCA, situarse en las proximidades de la maquinilla o bolardo, cuando se está realizando una maniobra con la maquinilla. Si el cable hace un lazo, podría arrastrar a una persona u objeto hacia el carretel (tambor) o bolardo.
10. NUNCA, enrollar demasiadas capas en la zona de estiva del carretel, ello podría originar, que no se pueda soltar cable o estacha de una forma controlada.
11. NUNCA, someter al cable a un radio de curvatura no permitido.
12. NUNCA, situarse demasiado próximo a un cable bajo carga, el mismo se podría romper sin advertencia previa.
13. NUNCA, depositar objetos en la zona de trabajo del cable, si el cable se rompe, los objetos podrían salir despedidos.
14. NUNCA, permitir que se sitúen más personas de las necesarias en la zona de trabajo de la maquinilla.
15. NUNCA, someter a carga el cable enrollado en la zona de estiba del carretel o tambor, en caso de que el carretel disponga de zona de trabajo. Asegurarse que en la zona de trabajo del tambor se disponga de suficiente longitud de cable.

16. NUNCA, tratar de estibar por si mismo el cable en el carretel o tambor. Siempre ayudarse por medio de una segunda persona, que guíe el cable correctamente en el tambor para que así quede bien enrollado.

17. NUNCA, situarse demasiado cerca del tambor o carretel cuando se está manipulando el cable. El cable podría saltar y aprisionarnos las manos.

18. NUNCA, intentar soltar con carga un cable enganchado.

4.8.2.2 INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD RELATIVAS A CABLES

1. EVITAR, guiar los cables a través de aristas vivas o con radios de curvatura demasiado reducidos. Los daños en los cables traen consigo una reducción de su resistencia. Cuando no sea posible realizar una guía de cable en dirección recta, el cable sufre deterioros debido a las aristas vivas o a radios de curvatura demasiado pequeños. Esto es necesario evitarlo.

2. EVITAR, cruzar innecesariamente el cable sobre el tambor o carretel. Golpes y deformaciones innecesarias del cable originan una reducción de la resistencia del mismo.

3. EVITAR, guiar los cables a través de ángulos no admisibles. Debido a la fuerza de tiro de la maquinilla y otro tipo de cargas se pueden producir cargas fuera bordo, que son superiores a la carga máxima de rotura del cable y con ello se pueden originar roturas de cable, antes de que el freno se haya liberado.

4.8.2.3 INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD PARA EL CABIRÓN

1. La fuerza máxima admisible en el cabirón no debe superar el tiro nominal del tambor de la maquinilla.

2. No está permitido utilizar el cabirón como bolardo.

3. No está permitido arriar el cable contra el freno a través del cabirón.

4. No está permitido cargar el cabirón hasta llegar a originar una sobrecarga del motor.

4.8.2.4 REQUISITOS ESENCIALES DE SEGURIDAD

1. Requisitos esenciales de seguridad y de salud relativos al diseño y fabricación de las máquinas y de los componentes de seguridad:

- «Zona peligrosa», cualquier zona dentro y/o alrededor de una máquina en la cual la presencia de una persona expuesta suponga un riesgo para la seguridad o la salud de la misma. La zona peligrosa se encuentra delante de la máquina, en la entrada, en la salida de la estacha y en el arco que en caso de rotura puede producir esta.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- «Persona expuesta», cualquier persona que se encuentre, enteramente o en parte, en una zona peligrosa. Se considera persona expuesta toda la que pueda situarse en el arco de rotura del cable.
- «Operador», la(s) persona(s) encargada(s) de instalar, poner en marcha, regular, mantener, limpiar, reparar, transportar una máquina.

2. Principios de integración de la seguridad:

2.1 Por su misma construcción, las máquinas deberán ser aptas para realizar su función y para su regulación y mantenimiento sin que las personas se expongan a peligro alguno cuando las operaciones se lleven a cabo en las condiciones previstas por el fabricante. Las medidas que se tomen deberán ir encaminadas a suprimir los riesgos de accidente durante la vida útil previsible de la máquina, incluidas las fases de montaje y desmontaje, incluso cuando los riesgos de accidente resulten de situaciones anormales previsibles. Se prevé la formación de los operadores.

2.2 Al diseñar y fabricar la máquina y al redactar las instrucciones, el fabricante deberá prever no solamente un uso normal de la máquina, sino también el uso que de la máquina pueda esperarse de forma razonable. Cuando el empleo anormal de la máquina entrañe un riesgo, ésta deberá estar diseñada para evitar que se utilice de manera anormal. En su caso, en las instrucciones de empleo deberán señalarse al usuario las contraindicaciones de empleo de la máquina que, según la experiencia, pudieran presentarse. Se prevé la formación de los operadores explicando el par máximo de frenado, el tiro nominal, el tiro máximo durante el funcionamiento de la máquina para no sobrepasar las cargas de diseño.

2.3 En las condiciones previstas de utilización, habrán de reducirse al mínimo posible la molestia, la fatiga y la tensión psíquica (estrés) del operador, teniendo en cuenta los principios ergonómicos. La máquina se puede manejar preferiblemente mediante mando a distancia o a pie de máquina con mando local. Se requiere siempre aplicar una fuerza en el extremo de la estacha para que se produzca el tiro.

2.4 El fabricante, en la etapa de diseño y de fabricación, tendrá en cuenta las molestias que puede sufrir el operador por el uso necesario o previsible de equipos de protección individual (por ejemplo, calzado, guantes, etc.). Se recomienda la utilización de casco, guantes y calzado de protección.

2.5 La máquina deberá entregarse con todos los equipos o accesorios especiales y esenciales para que pueda ser regulada, mantenida y usada sin riesgos. La máquina se entrega para ser conectada eléctricamente, dispone de su cuadro eléctrico, panel de control, y mando a distancia. La regulación se hace sobre estos mandos.

3. Materiales y productos:

Los materiales que se hayan empleado para fabricar las máquinas, o los productos que se hayan utilizado y creado durante su uso, no originarán riesgos para la seguridad ni para la salud de las personas expuestas. Especialmente, cuando se empleen fluidos, la máquina se diseñará y fabricará para que pueda utilizarse sin que surjan peligros provocados por el llenado, la utilización, la recuperación y la evacuación. La máquina no está fabricada con materiales que puedan originar riesgos para la seguridad ni para la salud. Para los llenados y vaciados de valvulina están previstos los elementos necesarios para realizarlos de forma segura.

4. Alumbrado:

El fabricante proporcionará un alumbrado incorporado, adaptado a las operaciones, en aquellos casos en que, a pesar de la presencia de un alumbrado ambiental de un valor normal, la ausencia de dicho dispositivo pudiera crear un peligro. El fabricante velará porque no se produzcan zonas de sombra molesta, ni deslumbramientos molestos, ni efectos estroboscópicos peligrosos debido al alumbrado proporcionado por el fabricante. Si hubiera que inspeccionar con frecuencia algunos órganos internos, éstos llevarán los adecuados dispositivos de alumbrado, lo mismo habrá de ocurrir por lo que respecta a las zonas de regulación y de mantenimiento. El usuario preverá alumbrar la máquina y la zona de trabajo para garantizar su uso seguro.

5. Diseño de la máquina con miras a su manipulación:

La máquina o cada uno de sus diferentes elementos debe poder manipularse con seguridad. Estará embalada o diseñada para que pueda almacenarse sin deterioro ni peligros (por ejemplo, estabilidad suficiente, soportes especiales, etc.). Cuando el peso, tamaño o forma de la máquina o de sus diferentes elementos no posibiliten su desplazamiento manual, la máquina o cada uno de sus diferentes elementos deberá: llevar accesorios que posibiliten la prensión por un medio de elevación, o estar diseñada de tal manera que se la pueda dotar de accesorios de este tipo (por ejemplo, agujeros roscados), o tener una forma tal que los medios normales de elevación puedan adaptarse con facilidad. Se establecerán disposiciones específicas respecto a la manipulación de las herramientas y/o partes de máquinas, por ligeras que sean, que puedan ser peligrosas (forma, material, etc.). La máquina apoyada sobre el suelo es estable. No se debe entregar embalada debido a su tamaño. Para su manipulación se han dispuesto de orejetas de izado soldadas al cuerpo de la máquina. Se utilizan patas durante el transporte para evitar daños en el cableado eléctrico que entra por la base (exterior fondo).

4.8.2.5 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Todo personal que participe en las operaciones de amarre y remolque debe llevar puesto el equipo correcto de protección personal (EPP ó EPI).

El equipo debe estar detallado en el Sistema de Gestión de Seguridad del buque y debe incluir buzos de alta visibilidad, un casco de seguridad con correa para sujetar la barbilla, calzado o botas de seguridad, guantes y, en climas fríos, ropa adecuada de abrigo de alta visibilidad.

El personal del castillo de proa debe tener a mano gafas protectoras en caso que el ancla tenga que ser soltado en una emergencia.

Siempre se deben usar guantes al manipular cables de acero por la posibilidad de lesiones a las manos por alambres rotos. En cuanto a las operaciones de amarre, el mejor consejo es no llevarlos demasiado sueltos para que no queden atrapados en los cables por los extremos de los tambores.

4.8.2.6 PRECAUCIONES EN LAS OPERACIONES DE AMARRE Y FONDEO

Todo marino que participe en operaciones de amarre y desamarre debería estar informado sobre los riesgos que entrañan tales operaciones. [77]

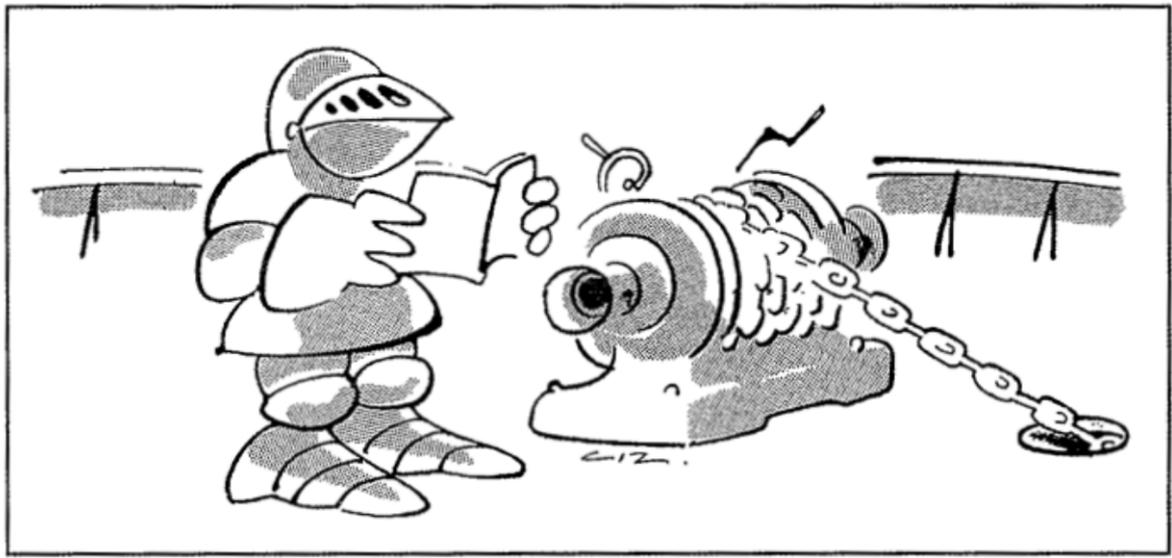


Ilustración 111

Una persona formada debería dirigir las operaciones de amarre, y antes de ordenar que se larguen o se recojan los cabos de amarre, debería cerciorarse que ninguna persona está en lugares peligrosos.

Cada vez que un buque se apreste a fondear, deberían examinarse todas las circunstancias pertinentes, tales como el estado atmosférico, las mareas o el tráfico de embarcaciones en el sector, con el fin de determinar qué tipo de cabos y cables se han de utilizar para garantizar un amarre en condiciones de seguridad.

El manejo de maquinillas, tornos de elevación y chigres debería estar exclusivamente a cargo de personas con la formación necesaria.

Se debe asegurar que hay suficiente personal listo para asistir en las operaciones de amarre en proa y en popa, con un oficial presente.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

Cuando el buque se encuentre abarloado, un vigía debería comprobar a intervalos regulares que las amarras se conserven en buen estado, y éstas deberían mantenerse siempre tensas para evitar el desplazamiento del buque.

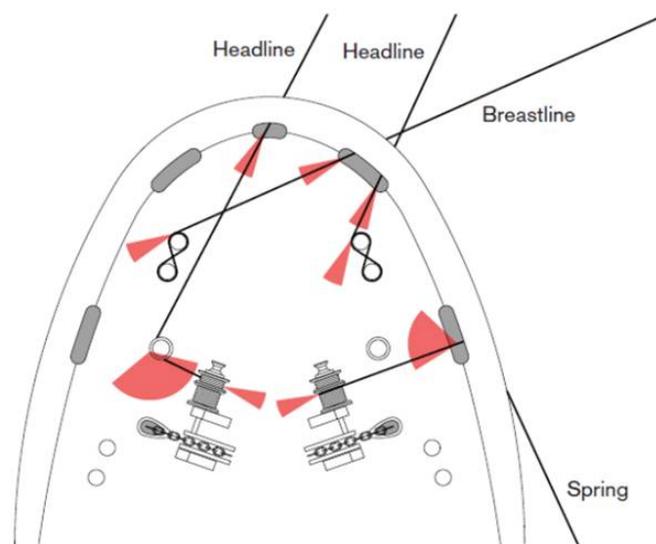
Los puestos de amarre deben estar libres de suciedades, desechos y despojos, las fugas de aceite hidráulico rectificadas y limpiadas, y en la medida de lo posible, las cubiertas pintadas con un tratamiento antideslizante.

Por la noche, los puestos de amarre deben estar adecuadamente iluminados para permitir las operaciones con seguridad.

Las comunicaciones por radio deben ser comprobadas con el puente antes de comenzar las operaciones y todas las comunicaciones tienen que identificar al buque para garantizar que no existe confusión con otros buques que operan en el mismo canal.

Los cabos de fibras sintéticas superan a los cabos de fibra natural en solidez, durabilidad, resistencia a la putrefacción, etc. Sin embargo, el desgaste, el deterioro y la exposición excesiva a los rayos del sol puede reducir en gran medida la resistencia de los cabos sintéticos, como ya se ha comentado con anterioridad, así que es preciso utilizarlos con precaución.

Uno de los principales peligros en las operaciones de amarre es que los cabos pueden romperse y en la práctica ocurre con asiduidad. [128]



En rojo: zonas potencialmente peligrosas

Ilustración 112

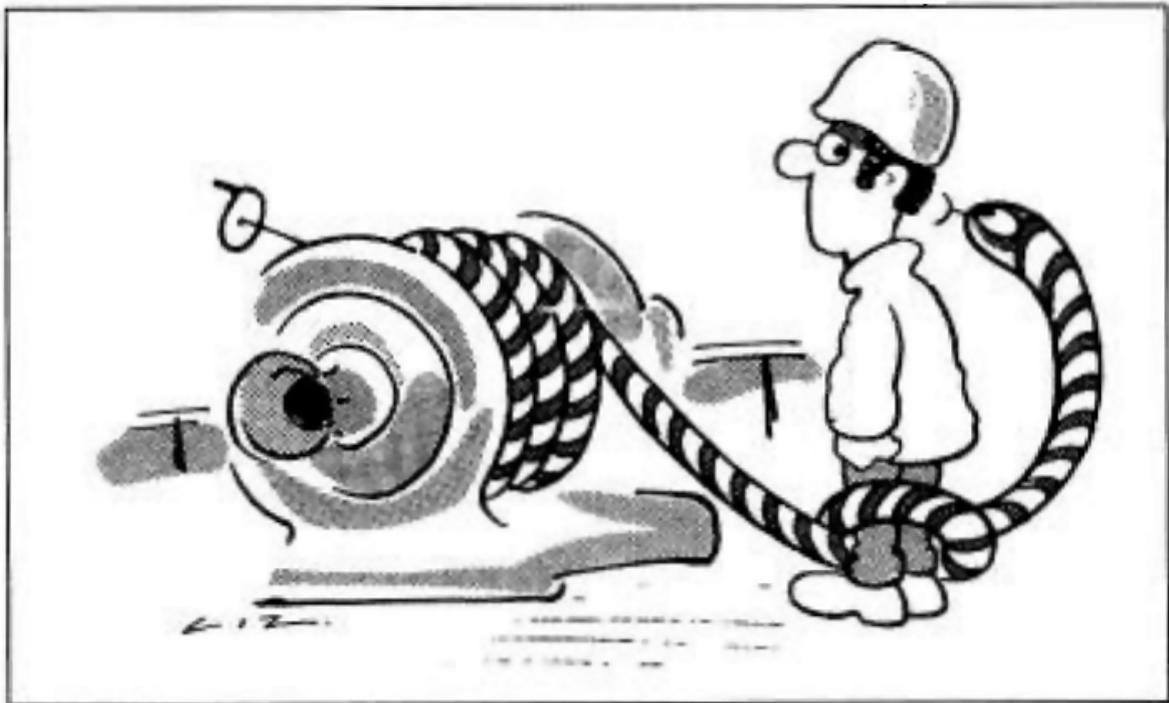
Algunos cabos sintéticos tienen un punto de fusión bajo y tienden a fundirse al pasar alrededor del carretel del chigre.

En los cabos de fibra sintética puede observarse muy poca o ninguna señal sonora antes de ocurrir la rotura. Debido a la elasticidad inherente en los cabos sintéticos, cuando se rompen pueden desplazarse una distancia considerable al retroceder con el latigazo de tensión.

Los cabos de acero pueden dar algún aviso sonoro de que están rompiéndose, porque los cables y hebras se rompen individualmente y se separan, pero debido a la falta de elasticidad no se desplazan tanto como un cabo sintético una vez separados. De todos modos, los cabos de acero pueden todavía causar lesiones graves o fatales. Por tanto, el personal tiene siempre que asegurarse que están colocados en un lugar de seguridad fuera de la trayectoria por donde un cabo pudiera retroceder al romperse y retroceder bajo tensión.

Cuando se observe que un cabo tiene tensión excesiva, en lo posible se deben tomar medidas apropiadas para reducir la tensión.

El personal nunca debe colocarse de pie dentro del seno de un cabo en ningún momento, y toda la tripulación en ese servicio debe estar pendiente el uno del otro alertando a sus compañeros si ven que pueden encontrarse en una posición peligrosa.



Los tambores de las maquinillas o los extremos de los tambores no deben nunca ser dejados en marcha y girando con la palanca de control no atendida. Una persona con experiencia debe estar siempre lista en los controles para manipular la maquinilla. La palanca de control no debe nunca ser atada y abandonada. [65]

Es necesario asegurarse que la tensión de afloje y giro lento de una maquinilla o su freno esté por debajo de la carga mínima de rotura (MBL) del cabo en el

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

tambor. Típicamente el freno debe aflojarse a 60% de la MBL del cabo en el tambor.

Se tiene que asegurar que los cabos son estibados en los tambores de tal manera que el cabo está ejerciendo un tiro contra el extremo fijo del conjunto de banda del freno.

En los tambores dotados de frenos de disco, el cabo puede ser estibado en el tambor en cualquiera de las dos direcciones.

Los cabos deben ser dirigidos, en la mayor medida posible, sin cambios bruscos de dirección.

Los cabos de acero y fibra sintética se mantendrán separados y no se debe permitir su cruce o ser dirigidos a través de la misma sondaleza.

Todos los cabos, en la mayor medida posible, deben ser dirigidos al noray en tierra de tal manera que se mantenga un ángulo mínimo entre el cabo y el plano horizontal.

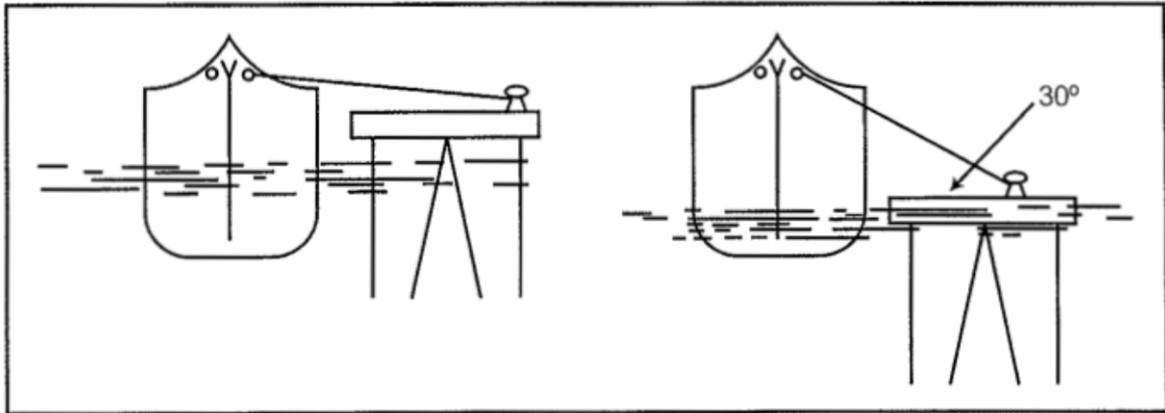


Ilustración 114 (Fuente: CEDEX 1990)

En la medida de lo posible, las estachas de costado tienen que ser pasadas desde lo más lejos posible en proa y popa y a ángulos rectos de la línea de proa y popa del buque.

Y en la medida de lo posible, los esprines tienen que ser pasados en paralelo con la línea de proa y popa del buque.

Cuando haya disponibles cabos de fibra sintética y de acero, tienen que ser usados el mismo tipo y tamaño de cabos para el mismo servicio. Por ejemplo, todos los esprines pueden ser de acero y todos los cabos de proa de fibra sintética. La mezcla de cabos sintéticos y de acero no es recomendado para el mismo servicio como ya se ha comentado con anterioridad.

Muchos buques usan ambos tipos de cabos de acero y sintéticos para amarrarse al muelle, y muchos cabos de acero tienen chicotes de estacha para darle al cabo de amarre algo de elasticidad. Sin embargo, debido a la elasticidad limitada en un cabo de amarre de acero o de acero con chicotes de cabo, comparada con la

elasticidad de un cabo sintético, se recomienda no pasar los cabos de acero como primeros cabos cuando se acerca al muelle para llevar al buque a su posición.

4.8.2.7 INSTRUCCIONES PARA UNA MANIOBRA SEGURA DE AMARRE

El puente informará del costado que usará el buque en el atraque, el número de cabos de proa y de popa, estachas de costado y esprines que van a ser puestos en servicio, y el cabo que será el primero enviado a tierra, ambos a proa y popa, y cómo va a ser enviado a tierra, ya bien por bote auxiliar o por una guía. [23]

Las bozas del ancla necesitan ser despejadas junto con el escobén y las tapas del mismo, y las anclas deben estar puestas listas para arriarlas. Cuando no fuera posible arriar el ancla desde el escobén, el ancla tiene que ser retraído lentamente fuera del alcance de la bocina del escobén y puesta en freno, y el molinete sacado de engranaje de modo que esté listo para su empleo en una emergencia.

Para la operación proyectada se deben tomar suficientes tramos de cabos de amarre de los tambores de las maquinillas o cabos enrollados y dejados en cubierta antes de llegar, listos para enviarlos al punto de atraque.

Cuando los cabos están siendo largados es mala práctica intentar pisarlos con el peso corporal para detener su marcha.

Cuando se van a lanzar guías al atraque, el amarrador en tierra tiene que ser alertado de este hecho. Y cuando las guías están siendo devueltas, el personal en cubierta tiene que ser alertado de que una guía está siendo devuelta y lanzada a la cubierta.

Cuando se usan botes auxiliares para pasar cabos, se debe tener cuidado de bajar los cabos bajo control en todo momento y que no se dejen caer sin control al bote auxiliar.

Cuando los extremos de tambores son usados para tensionar cabos, dos personas tienen que participar en la operación, una tendiendo el cabo en el extremo del tambor y otra enrollando el cabo en la cubierta al tiempo que está siendo tensado.

Tres vueltas alrededor del tambor tienen que ser suficientes para poner firme el cabo. De todos modos, en tambores con nervio pueden ser necesarias más vueltas. El cabo no debe ser mantenido firme sobre el extremo del tambor para prevenir que el cabo se derrita y se funda en el extremo del tambor.

Una vez conseguida la tensión adecuada, el cabo tiene que ser abozado y depositado en las bitas de amarre. Con cabos de fibra, la boza usada debe ser preferiblemente del mismo material que el cabo que está siendo abozado, es decir bozas sintéticas para cabos sintéticos y bozas de fibra natural para cabos de fibra natural (que ya apenas se usan). La MBL de la boza debe estar alrededor del 50% de la MBL del cabo que está siendo abozado. Sin embargo, las bozas de

poliamida (nylon) no deben ser usadas en cabos de poliamida debido al bajo coeficiente de fricción del material.

Los cabos de acero deben ser abozados con una boza de cadenas con un nudo de cabeza de alondra ampliamente espaciado, y el extremo de la cadena envuelta alrededor del cabo contra el tendido. Un nudo de ballestrinque no debe ser empleado ya que puede dañar el cabo.

Cuando se dispone el cabo sobre las bitas de amarre, las primeras vueltas tienen que ser tomadas directamente alrededor del primer poste de las bitas o alrededor del exterior de ambos postes antes de depositar el cabo en figuras de ocho alrededor de las bitas. Una vez que el cabo ha sido depositado en las bitas, la boza debe ser soltada del cabo. Los cabos no deben nunca ser dejados en los extremos del tambor cuando no están siendo tensados, tienen que ser siempre depositados en las bitas.

Las maquinillas de tambor dividido están diseñados de modo que el cabo bajo tensión está en la primera bobina del tambor que proporciona una fuerza máxima de tiro. Cuando se traslada el cabo de amarre desde el lado de almacenaje del tambor al lado de tensado, hay que tener cuidado cuando se maniobra el cabo por el hueco en el divisor del tambor. El personal debe estar posicionado de manera que tiren del cabo desde el lado de estiba hacia el lado de tensión en lugar de empujar, porque esto implica el riesgo de que el cabo retroceda hacia el tripulante que empuja.

Una vez que el buque está amarrado firme, las anclas necesitan ser trincadas colocando las bozas del ancla. Algunos buques tienen montadas maquinillas dotadas de una modalidad de tensión o automática. Se recomienda no usar estas en la modalidad de auto-tensión cuando están conectadas a un distribuidor en tierra o cuando el espacio delante de la proa y detrás de la popa aparece limitado, ya que han ocurrido casos de buques moviéndose lentamente a lo largo del muelle debido a las condiciones medioambientales predominantes. y causando accidentes.

4.8.2.8 SEGURIDAD EN MANIOBRAS DE DESATRAQUE / DESAMARRE

En las maniobras de desatraque y desamarre los cabos serán largadas y arriados a bordo conforme con las instrucciones recibidas del puente.

Una vez dada la orden de largar los cabos restantes, los mismos tienen que ser aflojados pronto y entonces recogidos a bordo una vez que los amarradores los hayan largado. Una vez largados desde los noráis en tierra, el puente tiene que ser avisado este hecho. El puente tiene también que ser avisado cuando los cabos ya han salido del agua y se puede usar la maquinaria de propulsión y las hélices. Las anclas tienen que estar firmes cuando el puente da la orden de hacerlo, y el puente tiene que ser informado cuando las anclas ya hayan sido trincadas con todas las bozas y las tapas de la gatera colocadas.

4.8.3 PRUEBAS FUNCIONALES DE ACEPTACIÓN

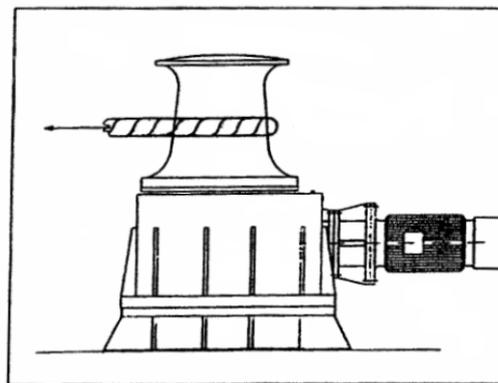
Inicialmente, se debe distinguir entre las pruebas de aceptación del equipo a realizar en los talleres del fabricante (pruebas FAT), y bajo la responsabilidad de este, y las pruebas funcionales a realizar a bordo por parte del astillero, una vez que los equipos han sido montados (pruebas SAT). [75]

El fabricante realizará las pruebas necesarias para demostrar al cliente y a la Sociedad de Clasificación, el correcto funcionamiento del equipo. A la vez, se cubren las hojas de datos de los protocolos de pruebas que constatarán el cumplimiento de lo indicado en la “Especificación Técnica de Compra”.

Para demostrar el cumplimiento de lo indicado en la ficha de especificación técnica, así como el correcto funcionamiento del equipo, se deberán realizar tres tipos de pruebas: [17]

1) Prueba funcional en vacío: de forma general consistirá en poner en marcha el cabrestante sin carga durante un periodo de tiempo de media hora en cada sentido. En caso de tener éste dos velocidades, el ensayo se realizará en ambas, dejando 15 minutos de reposo después de cada 30 minutos de funcionamiento. En cualquier caso se registrará la tensión de entrada al motor eléctrico, así como el consumo de este. El funcionamiento deberá producirse sin ruidos anormales ni calentamientos excesivos (temperaturas inferiores a 65°).

2) Prueba estática del cabrestante: generalmente tendrá por objeto el comprobar la resistencia de éste ante la aplicación de una carga en el cabirón de 1,5 veces la tracción nominal. Para ello se coloca una gaza de cable en el cabirón, normal a su eje vertical y en el centro de éste. A continuación se aplica, durante 10 minutos, una carga de la intensidad indicada y en el sentido exterior, comprobándose mediante el dinamómetro este extremo. Se verifica que no se presentan signos de deformación permanente de la carcasa o del eje del equipo.

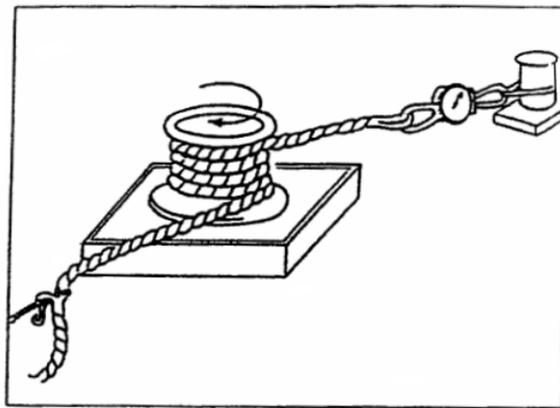


Prueba estática de aceptación del cabrestante

Ilustración 115

3) Prueba de funcionamiento en carga: con carácter general esta prueba se realizará buscando comprobar el correcto funcionamiento del equipo en unas circunstancias de operación similares a las de proyecto, esto es bajo las condiciones nominales de trabajo. Para ello se dispone el cabrestante haciendo

firme la estacha e intercalando un dinamómetro. Se pone en funcionamiento el cabrestante a baja velocidad, la estacha se tensa hasta que el dinamómetro marque la carga de tracción, esta situación se mantiene durante 15 minutos. Durante la prueba se refrigera y lubrica la primera vuelta superior de la estacha mediante el suministro de una emulsión de agua y aceite. Contorneado al equipo se sitúa una regala que contendrá serrín para filtrar el agua y absorber el aceite. Durante este periodo de funcionamiento se registrará la temperatura de la zona más caliente del bastidor del motor y de la carcasa de engranajes. Se tomará medida de la tensión y consumo del motor, así como las revoluciones de este. Tras 10 minutos de reposo se repetirá el ensayo haciendo girar el motor en sentido contrario. Tras la realización de la prueba se extraerá una muestra del aceite de la caja de engranajes, enviándola al laboratorio.



Prueba de funcionamiento en carga

Ilustración 116

A continuación se analizará de forma exhaustiva el protocolo de prueba de funcionamiento de los chigres de amarre y remolque de un buque:

4.8.3.1 EJEMPLO DE PROTOCOLO DE PROCEDIMIENTO DE AMARRE:

1. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD:

- 1.1. Todo el personal implicado en la prueba, asistirá a la misma con los EPI's de uso obligado a bordo del buque.
- 1.2. Si se considera necesario, se balizará la zona de trabajo, en cuyo caso, sólo el personal implicado en la prueba accederá a dicha zona balizada.
- 1.3. Se prestará especial atención al riesgo de descargas eléctricas. NADIE, salvo un electricista cualificado, manipulará dentro del cuadro y demás equipo eléctrico.
- 1.4. Se prestará especial atención al riesgo de golpes y atrapamiento, teniendo todo el personal implicado en la prueba cuidado en las maniobras de rodaje en vacío y rodaje de los equipos con carga.
- 1.5. Todos los elementos de maniobra utilizados (estachas, grilletes, dinamómetros, etc.), tendrán la adecuada resistencia, siempre por encima del tiro máximo de los cabrestantes (16 toneladas).

2. COMPROBACIONES PREVIAS:

- 2.1. Comprobar que las pruebas previas están realizadas y documentadas.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

PASO 5.-

- Arrancaremos de nuevo, para ello, tendremos que desclavar la seta de parada de emergencia, y con el selector en "LENTA", volver a pulsar "TIRAR", el cabrestante volverá a arrancar y el cabirón girará en sentido tirar.
- Pulsaremos la seta de parada de emergencia del cuadro de control y comprobaremos que el cabrestante para.

Rellenar: Satisfactorio No Satisfactorio

PASO 6.-

- Arrancaremos de nuevo, para ello, tendremos que desclavar la seta de parada de emergencia, y con el selector en "LENTA", volver a pulsar "TIRAR", el cabrestante volverá a arrancar y el cabirón girará en sentido tirar.
- Con el cabrestante girando, simularemos el disparo del relé térmico de velocidad lenta, comprobaremos que al dispararse el relé, el cabrestante para y se ilumina el piloto de alarma correspondiente.
- Comprobaremos, que el equipo no puede volver a ser arrancado mientras permanezca el disparo del relé.

Rellenar: Satisfactorio No Satisfactorio

PASO 7.-

- Volveremos a arrancar desde el mando local a pie de máquina, seleccionaremos "LENTA" y pulsaremos "TIRAR", con la maquina virando, simularemos la alarma de alta temperatura del motor, comprobaremos que la alarma se activa.
- Comprobaremos, que al dejar de simular la señal, la alarma de alta temperatura del motor desaparece.

Rellenar: Satisfactorio No Satisfactorio

PASO 8.-

Con el cabrestante girando en "LENTA" "TIRAR", rodar sobre 5 minutos para calentar el aceite del cárter.

A continuación, medir y registrar:

- Velocidad (15 m/min. = 4,8 rpm)
- Consumo eléctrico (máx. 88 A)

PASO 9.-

Pararemos, y manteniendo el selector en "LENTA", pulsaremos "LARGAR", girando en esta situación, mediremos y registraremos:

- Velocidad (15 m/mín. = 4,8 rpm)
- Consumo eléctrico (máx. 88 A)

PASO 10.-

- Pararemos, pasaremos el selector de velocidad a "RAPIDA", y rodaremos en uno u otro sentido.

«Research Investigation for the improvement of ship mooring methods» de la B.S.R.A. [4] [5] [6] [7]

Tabla 24: Vida media de las amarras

Life	Manila	Wire 6 x 24	Combination	Nylon	Terylene	Polypropylene
Average time, months	12	30	30	60	60	30
Approx. number of usages	75	187	187	375	375	187

Tabla 25: Estimación de costes

	Manila	Wire	Combination	Nylon	Terylene	Polypropylene
Circumference, in.	8	3 ¹ / ₄ (6 x 24)	4 ¹ / ₂	6 ¹ / ₂	6 ¹ / ₂	7
Breaking strain, tons*	28	29	31	48	38	37
Initial cost	£119	£95	£155	£390	£503	£200
Annual cost	£199	£43	£62	£78	£101	£80
Cost per usage	31/9	13/11	16/6	20/10	28/7	21/4

El grado de elasticidad de una línea de amarre es una medida de su capacidad para estirarse cuando está sometida a una carga. Para una carga determinada, una línea elástica se estirará más que una rígida. La elasticidad juega un papel importante en el sistema de amarre por varias razones:

- Una elasticidad alta puede absorber mayores cargas dinámicas. Por esta razón, es deseable una alta elasticidad para operaciones de transferencia buque a buque, o en terminales sujetas a olas o mar de fondo.
- Una alta elasticidad también significa que el buque se moverá estando amarrado y esto puede causar problemas con brazos de carga o mangueras si se produce vaivén durante las operaciones de carga y descarga. Este movimiento también crea una energía cinética adicional en el sistema de amarre.
- Un tercer aspecto, y muy importante, es el efecto de la elasticidad en la distribución de fuerzas entre las líneas de amarre. Una simple distribución de cuatro líneas, como la observada en la figura anterior, muestra en la parte superior que no está afectada por la elasticidad de las líneas, pero este ejemplo solo es válido para remolcadores, pequeñas barcas y buques muy pequeños como buques costeros. Buques mayores requieren más líneas, resultando repartos de carga e interacciones entre las distintas líneas. Esto se complica cuando el número de líneas de amarre se

incrementa. Si todas las líneas, excepto las líneas esprín, están con el mismo porcentaje de tensión con respecto a su punto de rotura, generalmente se logra una óptima restricción del movimiento. Si los siguientes principios se tienen en cuenta se puede obtener un buen reparto de carga.

El principio general es que si dos líneas de diferente elasticidad son conectadas a un buque en el mismo punto, la más rígida siempre asumirá una mayor proporción de la carga (dando por hecho que el freno de la maquinilla está activado), incluso si la orientación es la misma. La razón de esto es que ambas líneas se deben estirar la misma cantidad y, haciendo eso, la más rígida asume más porcentaje de la carga. La diferencia entre las cargas dependerá de la diferencia entre las elasticidades, y puede ser enorme.

La elasticidad de una línea de amarre depende primordialmente de los siguientes factores:

- Material y construcción
- Longitud
- Diámetro

La figura demuestra la importancia de cada uno de los factores mencionados en una distribución de carga. Los puntos más importantes a destacar son la apreciable diferencia en la elasticidad entre los cables y las estachas y el efecto de la longitud en la elasticidad. El caso A nos muestra un amarre aceptable donde se usan líneas del mismo material. El caso B indica la distribución de carga entre líneas del mismo material pero de diferente tamaño y cada línea está tensionada a aproximadamente el mismo porcentaje de su punto de rotura. Sin embargo, los casos C y D son ejemplos de distribuciones de amarre que deberían ser evitadas.

Los cables son muy rígidos. La elongación para un cable de 6 x 37 a una carga donde el material empieza a deformarse permanentemente es sobre el 1% de la longitud del cable. Bajo una carga equivalente, una cuerda de propileno se puede estirar 10 veces más que el cable. Así, si un cable es ubicado paralelamente a una línea de fibra convencional, el cable se llevará prácticamente la totalidad de la carga mientras que la estacha apenas nada. La elasticidad también varía entre diferentes tipos de estachas y, aunque la diferencia es generalmente no tan significativa como entre estachas y cable, la diferencia afectará a la distribución de cargas. Algunas estachas de fibra de polietileno, por ejemplo, tienen mucha menor elasticidad que otras estachas y se llevarían la mayoría de la carga si se ubican paralelas a estachas sintéticas convencionales.

El efecto del material en la distribución de cargas es crítico y el uso de amarres mixtos para servicios similares, como por ejemplo esprines delanteros, debe ser evitado. En algunos casos las líneas de amarre de fibra pueden llevarse casi ninguna carga, mientras al mismo tiempo algunos de los cables están fuertemente cargados, posiblemente más allá de su punto de rotura. Lo mismo puede suceder para la mezcla de líneas de fibra de varias elasticidades, aunque las diferencias generalmente no serían tan grandes a menos que el amarre incluya estachas sintéticas de alto módulo. [80]

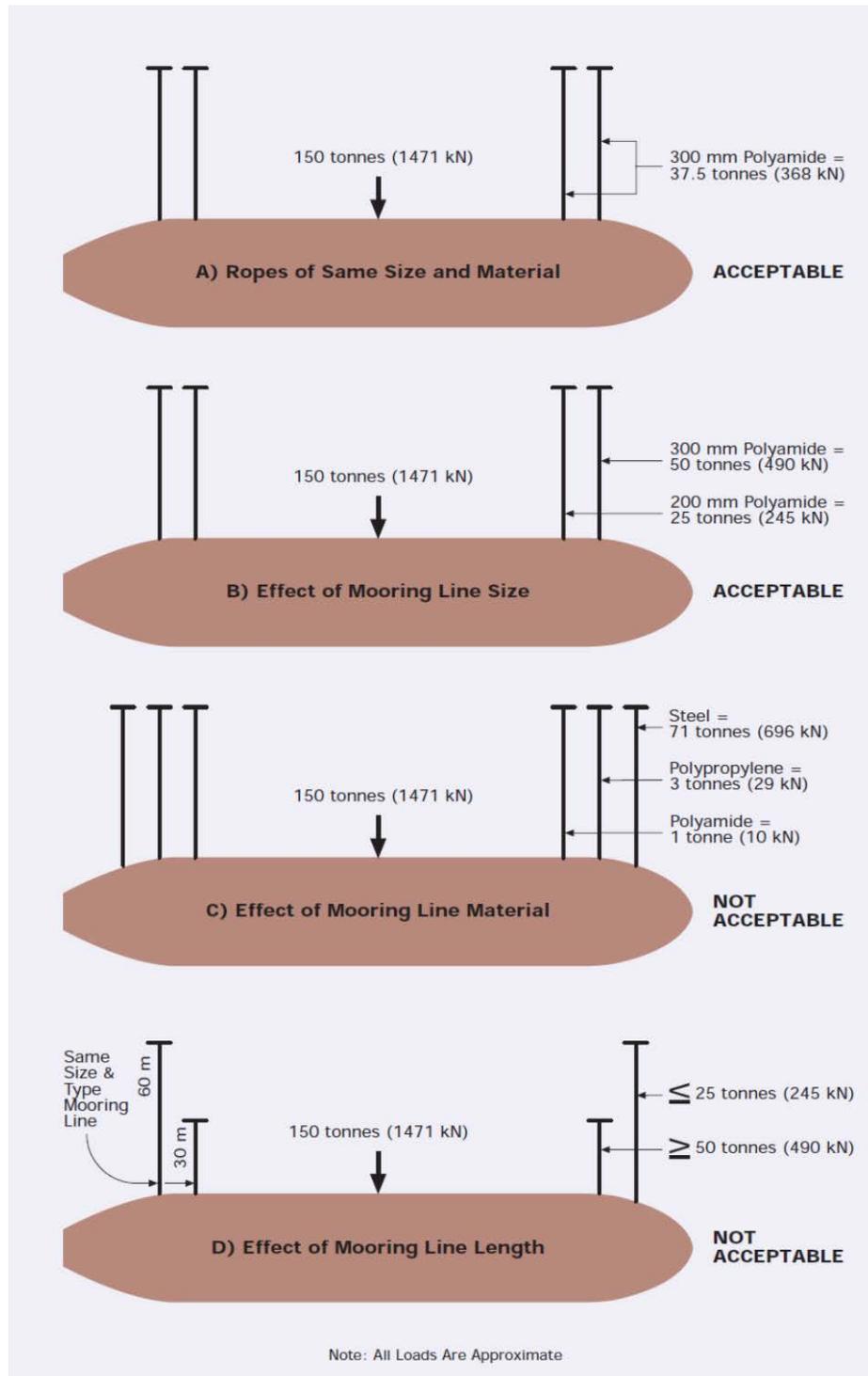


Ilustración 117: Efecto de la elasticidad del amarre en la capacidad de retención (Fuente: Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition)

Los efectos de mezclar cables y estachas sintéticas se muestran en la figura, por comparación de los casos 1 y 2. (Observe que las cargas menores en estachas 2, 4, 11 y 13 y el incremento en la carga en el cable desde un máximo de 57 toneladas (559 kN) a un máximo de 88 (863 kN)).

El efecto de la longitud de la línea (desde el punto de seguridad hasta el bolardo) en distribución de carga debe ser considerada. La elasticidad de la línea varía directamente con la longitud de la línea y tiene un efecto importante en la carga de la línea. Un cable de 60 metros de longitud asumirá solo cerca de la mitad de uno de 30 metros paralelo del mismo tamaño, construcción y material.

La elasticidad de un tipo dado de estacha varía también con su diámetro, construcción y edad. Normalmente este factor no es de importante consideración ya que la carga respectiva a la resistencia de una línea es el factor decisivo, en vez de la carga total. Las sogas de fibra convencionales pierden un poco de elasticidad con la edad.



Ilustración 118 (Fuente: Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition)

Es frecuente utilizar amarras en las que se mezclan diversos materiales, para combinar sus cualidades y obtener el máximo rendimiento. Un caso destacado son los cables con núcleo de fibra, que los hace más manejables. Además se simplifica su mantenimiento, empapando el núcleo con lubricante, que es inyectado al cable cuando éste se sometido a tracción.

Dentro de la combinación de materiales, el calabrote constituye un caso particular de

tipo de estacha. Consiste en un tramo CE de cable de acero al que se le añaden dos extremos de estacha de fibra, unidos mediante los oportunos grilletes y gazas. La finalidad que se persigue es doble: Por una parte se simplifica el manejo de la amarra, al disponer de materiales más flexibles y ligeros; por otra consigue que la rigidez global se asemeje a la de las estachas, como luego se comprobará, lo que mejora la respuesta del sistema de amarre.

Las estachas son muy elásticas, con gran capacidad de alargamiento. Por ello para una elongación dada se cargan menos que los cables. Es decir, permiten una mayor amplitud de movimientos. Tienen un buen comportamiento frente a cargas dinámicas (rápidamente aplicadas), puesto que al deformarse mucho absorben gran energía.

Los cables, más rígidos, restringen los recorridos del buque, a costa de una mayor carga. Presentan mal comportamiento frente a fuertes cargas dinámicas por su gran capacidad de absorción de energía, debido a su escasa deformabilidad. Por ello, ante cargas súbitas e intensas, responden con tirones violentos o incluso con la rotura.

No deben mezclarse en una misma línea cables y estachas, ya que el cable se sobrecargará por su mayor rigidez (mayor esfuerzo para el mismo estiramiento). Los cables son unas veinte veces más rígidos que las estachas, por lo que, para el mismo alargamiento se cargan veinte veces más. Ello significa que las estachas que trabajan en paralelo con ellos no soportan prácticamente carga y son ineficaces.

Los calabrotes han de utilizarse con precaución. En primer lugar, se deberá vigilar la forma de unión “cable-fibra elástica” para evitar concentraciones locales de carga y deterioro de la fibra. Además, habrá que prestar atención al estado de ésta, renovándola cuando se deteriore o cada 18 meses como máximo. Por último, se estudiará con cuidado la longitud del tramo elástico: Si es largo, mejorará el comportamiento dinámico del calabrote, por su mayor elasticidad, pero dará un peor resultado en cuanto a la amplitud de los movimientos. En cualquier caso, los tramos elásticos serán del mismo material en ambos extremos y medirán más de 10 m.

Se debe procurar que todas las estachas sean del mismo material, por las razones apuntadas anteriormente.

Las estachas del mismo servicio serán siempre del mismo material, para aumentar la eficacia de la línea y presentar un comportamiento uniforme.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- CURVAS TIPO DE % CARGA DE ROTURA - % ELONGACION PARA VARIOS MATERIALES: [19]

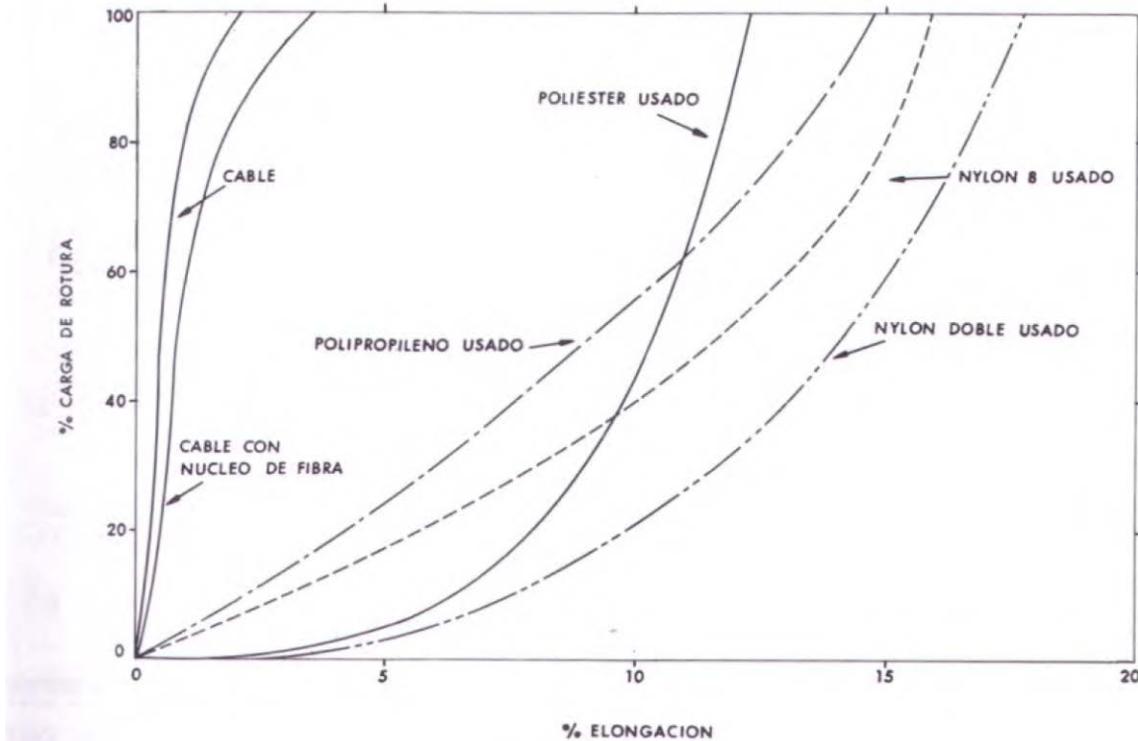


Ilustración 119 (Fuente CEDEX 1990)

Obsérvese la rigidez de los cables, mucho mayor que la de cualquier fibra textil, que da lugar a una menor capacidad de absorción de energía de aquéllos. [64]

- INFLUENCIA DE LA RIGIDEZ DE LA AMARRA: [19]

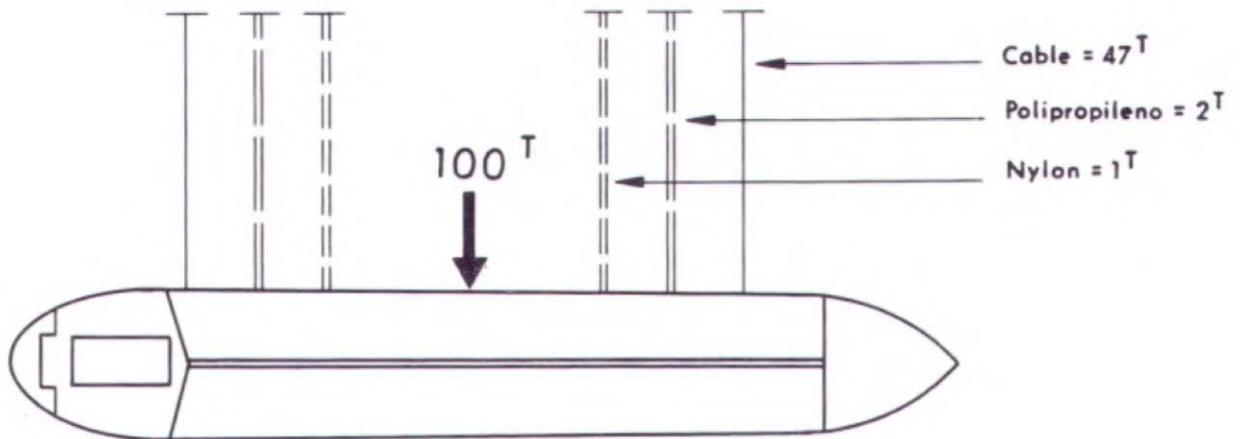


Ilustración 120 (Fuente CEDEX 1990)

- INFLUENCIA DEL GROSOR DE LA AMARRA:

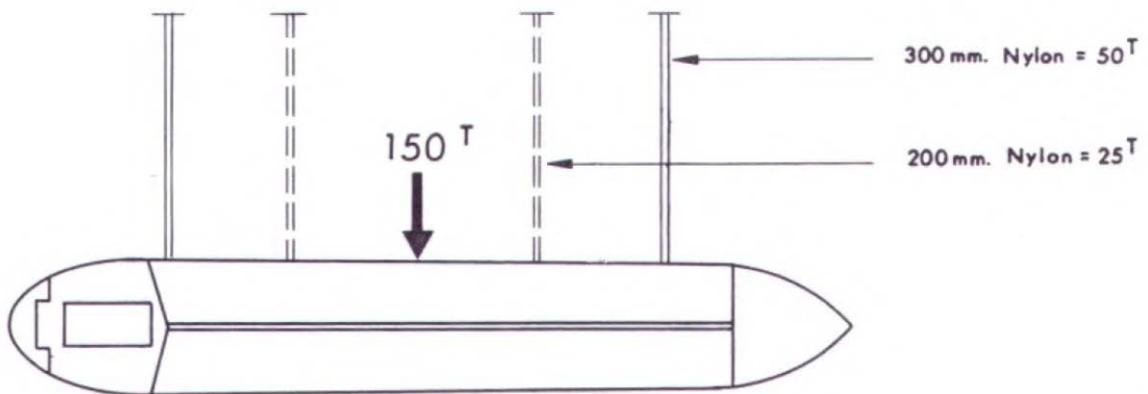


Ilustración 121 (Fuente CEDEX 1990)

El cable, por su mayor rigidez, se sobrecarga mucho más que cualquier fibra textil, llegando a alcanzar tensiones 20 o 25 veces superiores a las de éstas. Algo semejante ocurre con las amarras gruesas. Al ser más rígidas, se cargan más para el mismo alargamiento. [64]

- INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE AMARRAS: [19]

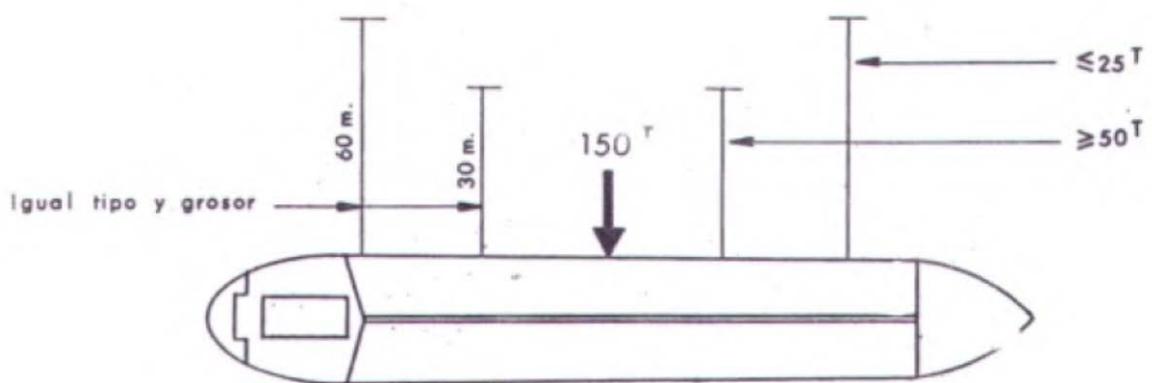


Ilustración 122 (Fuente CEDEX 1990)

Las amarras largas admiten una mayor deformación bajo la misma carga, por lo que la tensión que soportan es siempre menor, para la misma sollicitación, que la de las amarras cortas. [64]

4.9 REGULACIÓN Y REGLAMENTACIÓN: NORMAS Y REFERENCIAS

4.9.1 EN EL ÁMBITO NACIONAL

Aunque la construcción naval es una actividad de derecho privado, es justificada la actuación estatal y de ciertos organismos internacionales, debido al carácter internacional de la navegación, supervisando la construcción naval y el mantenimiento de los buques y de todas sus instalaciones de a bordo, con el fin de evitar posibles accidentes que pueden ocurrir por el incorrecto estado de mantenimiento, o la incorrecta elección de los equipos instalados. Todas las inspecciones y supervisiones, como es lógico, también afectan al equipo de fondeo. [66] [67]

En nuestro país el organismo que se ocupa de todas las inspecciones y supervisiones relacionadas con los buques mercantes, así como de regular las normas para la construcción naval, es el Ministerio de Fomento, a través de la “Dirección General de Marina Mercante”, en el pasado muy relacionado con la Armada.

Entre otros muchos asuntos, son competencia de esta Dirección General, la aprobación de los proyectos de nueva construcción, así como la inspección técnica de la construcción naval y el mantenimiento de las flotas mercantes y de pesca. Todas estas funciones inspectoras y de reconocimiento son llevadas a cabo por el cuerpo de Ingenieros Navales Inspectores de buques.

La normativa legal para llevar a cabo el control de la construcción naval y el reconocimiento de buques viene recogida en un texto articulado cuyo título genérico es el de “Reglamento de Reconocimiento de Buques y Embarcaciones Mercantes”, que consta de cinco capítulos y dos anexos. Tal como prescribe el propio reglamento, es misión de los inspectores el vigilar el exacto cumplimiento de lo dispuesto en materia de construcción naval en los reglamentos racionales e internacionales, debiendo efectuar los reconocimientos iniciales, periódicos y extraordinarios necesarios para la expedición de los correspondientes certificados.

Les obligan además a realizar las pruebas y reconocimientos necesarios para llegar al convencimiento razonable de que todos los elementos inspeccionados se hallan en buen estado, atribuyéndoles así mismo la facultad de aumentar o disminuir las exigencias recogidas en dicho reglamento, pero, al mismo tiempo, les hace responsables de los certificados que expidan, o sean expedidos en base a la información que suministren. [68]

4.9.2 EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL

Dado el carácter de internacional de la navegación marítima, es fácil comprender la intervención de los organismos internacionales en materia de construcción y reconocimiento de las flotas mercantes. Debe resaltarse la actuación de la “Organización Marítima Internacional” (OMI), promoviendo diversas conferencias que han dado lugar a importantes convenios internacionales relacionados con la

Seguridad de la Vida humana en el Mar, con la protección del medio marino (MARPOL), y sobre tecnología naval en temas sobre proyectos, construcción y equipos para los diversos tipos de buques (SOLAS).

Dichos convenios en términos generales, obligan a la aplicación de sus propias reglas por parte de los países firmantes, y en este sentido existe un artículo importante para nuestro estudio en el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar de 1974, más conocido generalmente como SOLAS, el cual en su capítulo I, parte B, regla 6, nos dice lo siguiente:

“La inspección y reconocimiento de buques, por cuanto se refiere a la aplicación de lo dispuesto en las presentes reglas y a la concesión de exenciones respecto a las mismas, serán realizadas por funcionarios del país en que esté matriculado el buque, si bien el gobierno de cada país podrá confiar la inspección y el reconocimiento ya sea a inspectores nombrados al efecto, ya a organizaciones reconocidas por él. En todo caso, el gobierno interesado garantizará incondicionalmente, de la integridad y eficacia de la inspección y el reconocimiento efectuado”.

El artículo precedente nos lleva directamente a las denominadas Sociedades de Clasificación (SSCC), las cuales no son más que unas entidades privadas reconocidas por la administración, que regulan la construcción, conservación y estado de vida de los buques, emiten dictámenes, sirven de medio informativo y, tras minuciosos reconocimientos y pruebas, que dichas sociedades llevan a cabo por medio de sus propios inspectores expertos en todas las ramas de la construcción naval, expiden una serie de certificados que en conjunto otorgan al buque una determinada “Clase”.

Cada Sociedad Clasificadora (SC) tiene sus propios reglamentos, en base a los cuáles se realizan los reconocimientos e inspecciones, y se determinan las clasificaciones.

Al ser estos reglamentos el fruto de muchos años de experiencia y de una continua investigación de los mejores expertos en cada rama, sirven como referencia válida para poder concertar la cuantía del seguro apropiada, así como para garantizar la bondad de la construcción, por ello cualquier armador encuentra ventajoso el construir su buque bajo dichas normas y obtener así una determinada “Clase”.

En líneas generales, las dos vertientes principales de actuación son: la construcción y la clasificación. La primera tienen por objeto supervisar e inspeccionar la construcción: el proyecto, el análisis de los materiales a emplear y la ejecución de la propia construcción. La segunda vertiente tiene por objeto, una vez construido el buque, otorgarle una “clase” en función de los reconocimientos e inspecciones llevadas a cabo durante la construcción y una vez finalizada ésta, que se distingue por una serie de cifras y símbolos característicos de cada Sociedad Clasificadora, y que podrá perderse si no se pasan todos los reconocimientos periódicos requeridos satisfactoriamente.

En lo referente a nuestro trabajo, dichas Sociedades de Clasificación son fundamentales, pues dedican extensos capítulos de sus reglamentos al equipo de fondeo de los buques, articulando reglas que abarcan desde la determinación del material a emplear, así como las pruebas que deben realizarse para cada uno de los componentes del equipo de fondeo.

Debemos hacer constar, que todas las Sociedades clasificadoras también otorgan una “clase” a los buques que no han sido construidos bajo sus normas específicas, lo cual se hará realizando minuciosos reconocimientos y pruebas.

4.9.3 SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN

Debido a su gran importancia e indiscutible necesidad a bordo, es lógico que el equipo de fondeo venga recogido en los reglamentos tanto nacionales como internacionales, además de constar su articulación como elemento estructural en las normas de las Sociedades Clasificadoras sobre construcción, reconocimiento y clasificación.

A) Reglamentación nacional:

En el ámbito nacional no se dispone de reglas que definan cuál es el equipo de fondeo con que tiene que ir dotado un buque, pero si obliga a que los materiales empleados y la maquinaria de dicho equipo sean inspeccionados antes de su montaje a bordo. Y entre ellos se halla el de fondeo, otorgándose a los inspectores la facultad de poder exigir durante la fase de construcción los planos relacionados con la instalación de amarre y fondeo, prescribiéndose para cuando el buque esté terminado las pruebas que ha de pasar. De esta manera, e independientemente de los cálculos y determinaciones llevadas a cabo por los ingenieros del propio astillero constructor sobre el equipo de fondeo, los inspectores comprobarán si dicho buque es adecuado, estando facultados para aumentar o disminuir las exigencias cuando lo estimen pertinente, ya que lo esencial según se indica, es que el inspector no expida ningún certificado sin el convencimiento razonable de que el buque es acreedor del mismo.

En lo referente a los reconocimientos periódicos, el reglamento los prescribe para el ancla, cadena, molinete, y hasta para la malla de fijación, indicando así mismo para los eslabones y grilletes de las cadenas un máximo de porcentaje de desgaste, obligando a su sustitución y renovación si éste fuese sobrepasado.

B) Reglamentación Internacional. Las Sociedades de Clasificación

Las Sociedades de Clasificación Internacionales destinan en sus reglamentos capítulos y normas dirigidas al equipo de 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. Veamos someramente como determina el equipo de fondeo para cada buque una de las más importantes Sociedades de Clasificación del mundo, el “Lloyd’s Register of Shipping”.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

En primer lugar se determina el tipo de buque de que se trata, estableciendo una mención al servicio al que va a ser destinado, diferenciando así entre:

- Buques de carga
- Petroleros
- Transbordadores
- Gánguiles
- Portacontenedores
- Pontonas
- Graneleros
- Pesqueros
- Dragas
- Gaseros
- Cargas pesadas
- Quimiqueros

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, ya indicada con anterioridad:

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

NE: Número de equipo

D: 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.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

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 (masa 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.

Algunas 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. [46]

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 de dicho, pues automáticamente el fallo vendría por avería o rotura de alguno de los elementos más débiles.

Un conocimiento de 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 realidad de nuestro equipo de fondeo. Muchas compañías, como medida preventiva, pasan 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 formarse 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 innecesarios accidentes con cuantiosos daños materiales, y lo que es peor, posibles pérdidas de vidas humanas.

4.9.4 REGLAMENTOS INTERNACIONALES

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 es la Sociedad 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.

5 METODOLOGÍA INVESTIGADORA

El ámbito marítimo en el cual se desarrolla la investigación ofrece dificultades propias del sector, cuyo alcance puede ser en muchos casos ilimitado por ser un campo en el cual la complejidad puede cerrar los temas sin haber sido tratados con detenimiento. Se han estudiado varias formas para establecer la metodología que permitan obtener un sistema válido que investigue, la introducción y aplicación de nuevas tecnologías en los buques.

La investigación ha sido estructurada para que se aborde el estudio de forma generalizada descubriendo sus características generales. Cuando las circunstancias, es decir, el contenido de una parte del tema lo requiere, se particulariza, profundizando en el análisis de algunos de los datos para clarificar los conceptos de las conclusiones.

La búsqueda de pautas a seguir para establecer un método de investigación en el caso del presente trabajo, se concreta en establecer fases de estudio, que progresivamente aborden los objetivos de cada capítulo, estudiando y analizando los datos que tengan relación hasta obtener unas conclusiones que se incluyen al final del trabajo. La dispersión de datos existentes es un condicionante añadido que dificulta el establecimiento y desarrollo de la metodología elegida en la investigación, a la hora de obtener buenos resultados.

La amplitud de temas tratados ha sido un obstáculo para confeccionar el número de capítulos, que han podido reunir todo el contenido, siguiendo la misma metodología en todos que es la siguiente, partiendo del planteamiento de un objetivo, se desarrolla un contenido que proporcione la solución. Una característica que se ha tenido presente en el contenido de cada capítulo es establecer siempre una correlación entre tecnología y seguridad de forma que los objetivos planteados al principio de cada uno se vean reflejados en las conclusiones que se aportan al final, manteniendo ambos factores al máximo nivel posible.

Para realizar esta tesis se ha llevado a cabo una investigación documental, seleccionando y recopilando información, procedente de normas, reglamentos de Sociedades de Clasificación y otros organismos.

Una vez obtenidos los datos, se ha realizado un análisis de los mismos en investigación cualitativa, en un proceso que ha consistido en dar sentido a la numerosa información recogida en el escenario, lo que ha requerido que se organicen los datos de manera que la información resultara manejable, y eso, a su vez, se ha conseguido buscando aquellas unidades de análisis que parecían más relevantes.

Para descubrir lo verdaderamente importante, el significado que se esconde tras los datos, se han realizado los siguientes pasos:

- Estudio de la evolución de los sistemas de amarre del buque (dispositivos de inmovilización, medios dispuestos a bordo, componentes (concepto equipo), etc...).
- Identificación de las exigencias a cumplir: de carácter reglamentario (SSCC), de carácter operativo, impuestas por las operaciones portuarias, de adaptación al tránsito por canales de peaje, etc...
- Comparación de los procedimientos de determinación y diseño propuestos por SSCC y otros organismos.
- Estudio del diseño de componentes (bitas, guías, cabrestantes, chigres, etc...).
- Análisis de elementos para implementar muelles, comparando puertos y muelles de España, de Europa y del resto del mundo.
- Establecimiento de propuestas en torno a la evolución futura de sistemas de amarre teniendo en cuenta exigencias operativas y de maniobra, la mecanización/automatización, y la evolución de los equipos.
- Análisis de las diferencias existentes entre los equipos y sistemas de amarre existentes entre los buques mercantes civiles, y los buques de guerra de porte similar. Se realiza un estudio de la normativa militar

española y americana referente a estos equipos (Design Data Sheets, Departments of the Navy, Especificaciones de contrato de buques, etc...).

6 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

6.1 COMPARATIVA DEL CÁLCULO DEL NÚMERO DE EQUIPO Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE AMARRE Y FONDEO EN BUQUES CIVILES

6.1.1 SISTEMA DE AMARRE Y FONDEO

Aunque no es materia específica de esta tesis el análisis de los sistemas de fondeo, no se puede negar la relación directa existente entre ellos y los sistemas de amarre, ambos calculados mediante el número de equipo. Por esta razón se va a dedicar una pequeña parte de este apartado, a su cálculo. [36]

- Número de equipo:

El número de equipo 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. En Lloyds Register se define como: [125]

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

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

Sobre un buque 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. [69]

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

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- 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.

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: American Bureau of Shipping (ABS), Bureau Veritas (BV), Det Norske Veritas (DNV), Germanischer Lloyd (GL), y Lloyds Register of Shipping (LRS).

Analizadas las cinco SSCC, 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: [14] [29] [40] [41]

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

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: [126]

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

Tabla 26: Se adjunta como ejemplo la tabla del Lloyd's:

	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

Tabla 27: 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)	Special quality steel (Grade U2)	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 SSCC, 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 27, podrían verse minorados si consideramos al remolcador como de “servicio restringido” y le aplicamos las reducciones que permiten las SSCC. 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 28

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 29

	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

SISTEMA DE AMARRE. COMPARATIVA APLICABLE A UN REMOLCADOR:

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 30

	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, todos los resultados son similares, a excepción de Bureau Veritas (BV).

6.1.2 ESTUDIO COMPARATIVO DE MATERIAL A UTILIZAR EN AMARRAS DE ACUERDO CON LAS SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN

Se procede a analizar el Reglamento del Lloyd's Register of Shipping (LRS), el Germanischer Lloyd (GL) y el del Bureau Veritas (BV), tres instituciones de reconocido prestigio internacional:

- Cables de alambre de acero:

Se estudia, en el apartado de materiales, el proceso de fabricación y las pruebas a realizar, entre ellos ensayos a torsión, para garantizar el buen comportamiento de los cables.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

En el reglamento del LR se exige la utilización de métodos de fabricación aprobados por el Comité correspondiente, siendo publicado anualmente el listado de fabricantes autorizados para fabricación.

Se establecen también en este apartado algunas recomendaciones sobre la estructura de los cables, en lo que se refiere a la disposición de los cordones, los hilos y el alma de alambre o fibra.

Se fija para los alambres de acero, un conjunto de características de calidad y resistencia, exigiendo la galvanización con revestimiento de zinc para evitar la corrosión. Tal revestimiento deberá ser sometido a una serie de pruebas para determinar su espesor y uniformidad, así como el grado de adherencia.

Para la certificación de los cables, se exige el ensayo de tracción estática, con el objeto de determinar la carga de rotura. El reglamento del LRS se limita a pedir el cumplimiento de una norma nacional o internacional reconocida.

El reglamento del BV, a su vez, determina una tabla de cargas de rotura mínimas en función del diámetro del cable.

También se exige una prueba de torsión de los alambres, siempre a baja velocidad de carga.

Como se aprecia, en ningún momento se mencionan pruebas de comportamiento dinámico de los cables, y ello teniendo en cuenta que los fenómenos de carga de los cables en su trabajo como amarras serán fundamentalmente de este tipo.

- Cabos de fibra:

En cuanto a la fabricación, se recomiendan diversos materiales (coco, cáñamo, abacá, sisal, fibras sintéticas) y estructuras de 3, 4 o 9 cordones, aunque se admiten otras configuraciones.

Se exige una calidad que cumpla con una norma nacional reconocida. En cualquier caso, las cualidades de las amarras de fibra quedan poco determinadas, especialmente en el caso de las fibras sintéticas, paradójicamente cada vez más utilizadas.

Se llegan a escribir los siguientes párrafos, muestra evidente de imprecisión:

"Los cabos de fibras sintéticas deben ser apropiados para el fin para el que están destinados y deben cumplir una norma reconocida".

"Las fibras sintéticas serán de calidad apropiada para la utilización prevista".

Los cabos deberán someterse al ensayo de rotura por tracción. El reglamento de LRS exige una norma nacional, mientras el de BV marca una tabla de cargas de rotura para cabos de tres cordones, con un coeficiente corrector para cabos de cuatro cordones. Admite también el ensayo de un solo cordón, obteniendo la carga de rotura total como suma de las individuales de cada cordón, con un coeficiente corrector.

Como ocurría en los cables, tales pruebas son sólo estáticas, cuando el comportamiento de los cabos como amarras será eminentemente dinámico.

El GL define una tabla en el capítulo 1.

- Cabos de amarre:

En los reglamentos se ofrecen unas tablas que, en función del número de equipo, determinan las características de los equipos de amarre y fondeo. En lo que se refiere a las amarras, tales tablas constituyen una norma obligatoria para buques de menos de 90 m de eslora, pero son una mera recomendación para buques mayores.

Para estos últimos, sólo es obligatorio que la resistencia total del conjunto de las amarras supere la carga de rotura de una de las cadenas calculadas anteriormente. Tal norma es incompleta, y no presupone que las amarras vayan a trabajar de forma satisfactoria, pues el modo de distribuirlas y los materiales que las componen son factores fundamentales en el comportamiento del buque amarrado.

El reglamento de LRS señala que los cabos de amarre pueden ser de alambre de acero, fibra natural o fibra sintética, sin especificar ninguna norma de orientación sobre su uso simultáneo. Como veremos posteriormente, la utilización en un mismo amarre de líneas de acero y fibra ("mixed mooring") acarrea graves problemas. Los cables se sobrecargan debido a su mayor rigidez, dejando a las estachas en banda. En este caso, las líneas de amarre pierden eficacia, el comportamiento del buque no es el previsto y hay grave peligro de rotura de los cables.

Por otra parte, la imprecisión y la ambigüedad continúan en el siguiente párrafo: "Cuando se proponga la utilización de estachas de fibra sintética se considerarán especialmente su tamaño y construcción". Al menos el reglamento BV especifica para los cabos de fibra sintética, unos coeficientes de corrección de las cargas de rotura tabuladas.

Ambos reglamentos presentan unas tablas que definen el número, longitud y resistencia de los cabos de amarre en función del número de equipo.

En primer lugar se observa que el BV extiende la tabla para valores de NE desde 50 a 9.400, mientras que el LRS se queda en 1.700, muy por debajo de gran número de buques existentes. Así pues, su campo de aplicación es limitado. En la zona común, ambas tablas dan cifras prácticamente coincidentes.

Se exige un número mínimo de 4 amarras para buques mayores de 90 m de eslora, y 6 por encima de 180 m. Ambas cifras resultan muy bajas. El número de amarras presentado en la tabla se considera, de acuerdo con la experiencia, muy escaso. Lo habitual es llevar a bordo hasta dos veces el número de amarras reglamentado. Incluso se permite reducir el número de amarras tabulado si se utilizan menos cabos de longitud equivalente a los especificados.

En cuanto a la longitud de las amarras, se exige un mínimo de 200 m (o la eslora del buque, si es menor), que resulta adecuado de acuerdo con la experiencia.

La resistencia mínima de las amarras determinada por la tabla es también muy baja, y no permite superar solicitaciones exteriores importantes en buques de cierto porte.

En resumen, la tabla de características de amarras en función del numeral de equipo, resulta claramente insuficiente a la luz de la experiencia, y ha de acudir a otras fuentes si se quiere disponer un equipo de amarre ajustado.

Otro aspecto poco definitivo en los reglamentos es el de las bitas. Se dice: "Se proveerán a bordo del buque medios adecuados para afirmar los cabos de amarre. Se recomienda que el número total de bitas adecuadamente colocadas a cada banda...". Como vemos, no se especifica nada sobre la disposición de tales bitas, cuando el punto de fijación de la amarra a bordo resulta de capital importancia en cuanto a su eficacia.

Hay otros aspectos sobre los que falta uniformidad. Por ejemplo, el factor de trabajo de las amarras. Se define como tal la relación entre la carga de trabajo admisible y la carga de rotura:

$$\rho = P / MBL$$

donde:

ρ = Factor de trabajo

P= Carga de trabajo

MBL= Carga de rotura (Maximum Breaking Load)

Los reglamentos anteriores no dicen nada sobre tal cuestión. En las recomendaciones de la B.S.R.A. ("Research Investigación for the Improvement of Ship Mooring Methods") se fija un valor de 0.67 para las amarras de fibra (0.75 para evitar el comportamiento plástico más una pérdida del 10% en las uniones) y 1.154 para los cables (0.60 para evitar roturas bruscas más la pérdida citada). Además, habría que tener en cuenta otras consideraciones, como los fenómenos de fatiga, que harían bajar este factor hasta el 30% o el 40% de la carga de rotura.

Tampoco se establecen de forma clara y uniforme las pruebas que deben pasar los equipos de amarre (chigres, guías, tambores, bitas, etc.) ni las amarras, no ya en lo que se refiere a resistencia, sino en cuanto a conservación, uniones de cables, lubricación, rugosidad de las superficies de contacto, estanqueidad de la maquinaria, etc., que tanta influencia tendrán en el correcto comportamiento del sistema de amarre.

A la vista de los problemas observados, diversas organizaciones internacionales han ido elaborando, a lo largo del tiempo, orientaciones y recomendaciones sobre algunos aspectos del atraque y amarre de buques. Tales documentos se basan casi siempre en datos recogidos por los países miembros, o por los puertos o armadores asociados, y no suelen ser de tipo general, sino enfocados a una tipología específica de buques. El interés de estas publicaciones es indudable, y pueden servir como base para la elaboración de normas conjuntas de ámbito internacional. Por su especial relevancia cito las siguientes:

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- "Research Investigation for the Improvement of Ship Mooring Methods", de la British Ship Research Association (B.S.R.A.). [4] [5] [6] [7]
- "Guidelines and Recommendations for the Safe Mooring of Large Ships at Ports and Sea Islands", publicado por el Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). [65]
- "Big Tankers and their Reception" International Oil Tankers Commission. [89]

Hay que resaltar, una vez más, el hecho de que estas publicaciones, aunque basadas en la experiencia acumulada por grupos de expertos, no tratan aspectos del buque atracado desde el punto de vista dinámico, echándose de menos algún tipo de informe internacional que recoja, de una forma práctica y aplicable, experiencias obtenidas de ensayos en modelo y de mediciones o situaciones conocidas en prototipo, donde el comportamiento dinámico del buque atracado juegue un papel relevante.

En esta línea de investigación hay que destacar los estudios del Profesor Vasco Costa, fundamentales para entender, de una forma sencilla, la compleja interacción existente entre el sistema “buque-amarras-defensas” y el clima marítimo. Asimismo, las diferentes conferencias organizadas por la NATO pueden considerarse como un buen resumen del tratamiento altamente científico dado al comportamiento dinámico del buque atracado. [111] [112] [113] [114]

6.1.3 SELECCIÓN DE NÚMERO, TAMAÑO Y RESISTENCIA DE LÍNEAS

6.1.3.1 NÚMERO

En todos los buques es importante que el número de líneas de amarre utilizado se mantenga al mínimo, ya que la mayoría de los buques mercantes necesitan sistemas de amarre accionados a potencia, por lo que la reducción del número de líneas de amarre minimizará los costes de inversión inicial y mantenimiento de los chigres.

Evidentemente el número mínimo que se necesite va a depender del porte y superficie vélica del buque. En buques pequeños, se podría hacer un plan de atraque con cinco o seis amarras, pero en buques de porte medio, por ejemplo graneleros o petroleros de 50000 toneladas de peso muerto, ya serán necesarias del orden de hasta 15 amarras.

A continuación se presenta un cuadro, elaborado de la experiencia, en el que se aprecian los números típicos de los diferentes tipos de amarras, tomando como ejemplo los petroleros (en primer lugar) y los graneleros. La tabla indica el número de estachas principales, en función de la velocidad exigida a los buques. Es obvio que esa velocidad será función del porte del buque:

Tabla 31: Número de estachas y su distribución con respecto al atraque

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

6.1.3.2 TAMAÑO

Si el número de líneas de amarre se mantiene al mínimo, implicará que esas líneas deban ser lo más resistente posibles, pero obviamente, existirán límites prácticos para el diseño del tamaño máximo que pueda utilizarse. Como primera aproximación se podrían establecer unos tamaños prácticos máximos, pero sin olvidar que existirán otras consideraciones que recomendarán el utilizar tamaños más pequeños.

Se podría establecer que para todos los buques que empleen sistemas de amarre de polipropileno manuales, el tamaño deba estar limitado al mayor que pueda manejarse satisfactoriamente por dos hombres. Está estudiado que se puede cumplir fácilmente con esta normativa usando polipropileno de 9 pulgadas de diámetro.

Para buques que utilicen sistemas de amarre accionados por potencia, que serán la mayoría, el tamaño máximo debe depender de los amarradores de tierra y/o personal de bote, en caso de utilizarse. La mayoría de las terminales petrolíferas ya están familiarizadas con cables de hasta 44 mm de diámetro, de modo que este tamaño parecería adecuado. Sin embargo con buques más pequeños, por debajo de 25000 t de peso muerto, que empleen sistemas de amarre accionados mecánicamente, será mejor utilizar cables de 36 mm de diámetro.

6.1.3.3 LONGITUD

La experiencia dicta que para buques que utilicen métodos de trabajos manuales, la longitud de las líneas de amarre debe mantenerse en 60 metros, pero para aquellos que atraquen en muelles convencionales, se recomiendan dos líneas de 100 metros cada una, para las primeras líneas, eliminando la necesidad de unir dos tramos normales.

Para buques que utilicen sistemas mecánicos, las primeras líneas de polipropileno no deben ser inferiores a 100 metros, mientras que los cables de amarre serían de 100 metros. Esta última medida se recomienda como resultado de la experiencia observada en grandes petroleros, por los siguientes motivos:

- La longitud mínima a usar, para amarres al muelle, es de aproximadamente 600 pies, estando los 200 pies exteriores sujetos a un mayor desgaste.
- Para la duración de la mayoría de los cables, la longitud adicional facilita su uso en muelles convencionales.

6.1.3.4 RESISTENCIA. CONSIDERACIONES GENERALES

Antes de la llegada de los chigres semiautomáticos, las líneas de amarre se utilizaban afirmándose a algún punto. No existían sistemas que controlaran la tensión, por lo que la única cifra de la que se disponía, era la carga real, y tampoco era un dato determinante si se desconocían las fuerzas que se creaban en el buque.

Hoy en día, como ya se pueden conocer y calcular, con cierta precisión, las fuerzas que tiene que resistir el amarre, se pueden diseñar los chigres para que aguanten las tensiones que deben estar permitidas en las líneas de amarre.

Antiguamente era habitual el que las cargas de trabajo se establecieran entre 1/5 y un 1/6 del esfuerzo total. Estas consideraciones provenían de la normativa de “izado de cargas”, donde la seguridad era de vital importancia. Obviamente, estas cargas son muy inferiores a las existentes en las líneas de amarre, con condiciones atmosféricas adversas, por lo que se puede considerar como poco económico, el intentar buscar materiales con factores de seguridad de ese orden. En el contexto del amarre, parecería razonable permitir, bajo condiciones normales, tensiones cercanas al punto de máximo rendimiento del material.

En cabos de fibra sintética, las investigaciones han demostrado que algunos materiales sufren una bajada en la curva de “carga-alargamiento” por encima del 80 % de la carga de flexión establecida, lo cual implica que la situación ya es irreversible. Por lo tanto se llega a la conclusión de que las fibras sintéticas no deben cargarse por encima del 75 % de su carga de flexión.

Aunque para cables no existe un punto definible en el que se produzca el máximo rendimiento, excepto justo por debajo de su punto de rotura, todos los fabricantes de cables están de acuerdo en que cargas de hasta el 55% de la carga de rotura

pueden aplicarse repetidas veces sobre los cables de fibra (60 % sobre cables de acero), sin que se produzcan daños.

Existen motivos para pensar que estamos hablando de cifras prudentes ya que se han llevado a cabo pruebas con cargas de hasta el 80 %, con resultados satisfactorios. Por otro lado, otros factores importantes que deben tenerse en cuenta son las uniones débiles (gazas) y la reducción de fuerza debido a la torsión (en zona de guías y bitas).

Una cifra aproximada, que indique la reducción de la fuerza debido a la gaza del cabo, estará en torno al 10% de la carga de rotura.

En relación a la torsión, no existen muchas evidencias de la relación entre la torsión y las pérdidas de fuerza en cabos de fibra sintética, sin embargo los fabricantes recomiendan que se empleen relaciones inferiores a 3:1 para evitar acciones de corte. Pero ya que los equipos existentes proporcionan relaciones muy superiores a esta recomendación, se puede llegar a la conclusión de que pueden descartarse en fibras sintéticas las pérdidas de resistencia debidas a la torsión.

Cuando el cable de acero laborea por zonas curvas de pequeño radio, como las guías y bitas, sufre una reducción de fuerza que varía inversamente con relación al radio de torsión

6.2 COMPARATIVA DEL CÁLCULO DEL NÚMERO DE EQUIPO Y SELECCIÓN DEL EQUIPO 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 SSCC han creado reglamentos específicos para buques de Guerra, que se reconocen rápidamente porque incorporan el apellido “Naval Rules” en su nombre. [13] [62]

La Convención de Naciones Unidas en la Ley del Mar (UNCLOS) en el Artículo 29 define un buque de guerra como:

“Un buque perteneciente a las Fuerzas Armadas de un Estado que lleva marcas externas que distinguen la Nacionalidad del buque bajo el Mando de un Oficial debidamente comisionado por el Gobierno del Estado y cuyo nombre aparece en la lista de servicio apropiada o su equivalente y tripulado por una dotación bajo la disciplina de las Fuerzas Armadas”. [54]

El SOLAS en su Regla 3 (Excepciones) del Capítulo I (Disposiciones Generales) establece que sus Reglas no son aplicables a Buques de Guerra y Buques para el transporte de Tropas.

Los Buques de Guerra están eximidos de la mayoría de la legislación de los Buques Mercantes, internacional y nacional y como tal, las Armadas han dirigido la seguridad de los buques independientes de los Organismos Estatutarios. Hay excepciones a esto. Primero, los Buques Auxiliares pueden ser clasificados y

certificados por Sociedades de Clasificación o Autoridad Bandera. En segundo lugar, hay algunos aspectos de la legislación estatutaria que los Buques de Guerra tienen que considerar. Estos incluyen la navegación de buques por aguas internacionales, comunicaciones con otros barcos y el sostenimiento, cada vez más, de la protección medioambiental.

Por otra parte, debido a una combinación de restricción de recursos y el incremento de la presión pública en relación a la seguridad, la mayoría de las Armadas están recurriendo a las Sociedades de Clasificación para apoyo. De esta forma, por ejemplo aproximadamente el 90% (por tonelaje) de la flota de la Armada Británica está en Casco clasificada o bien por Lloyd's Register o por Det Norske Veritas. En este momento casi todas las nuevas construcciones están siendo realizadas bajo las Reglas de una Sociedad de Clasificación.

Sin embargo, hay problemas que surgen si las Armadas contratan con Sociedades de Clasificación y comparan su gestión de seguridad contra buques civiles. En este sentido podemos hacer tres observaciones basadas en experiencias actuales:

- En primer lugar, las Reglas de las Sociedades de Clasificación están basadas en la legislación Estatutaria y algunos aspectos son aplicables a Buques de Guerra, es necesario por tanto, que estas Armadas, las cuales clasifican buques, entiendan los interfaces con la legislación Estatutaria.
- En segundo lugar, las Armadas tienden, comprensiblemente, a estar principalmente interesados en desarrollar una Capacidad Militar. Las Sociedades de Clasificación por tanto, necesitan entender la naturaleza de las Armadas e incluirlo en el desarrollo de sus Reglas para asegurar que no se compromete la Capacidad Militar.
- En tercer lugar, IMO en conjunto con las Autoridades de los Estados están exclusivamente involucrados con buques mercantes y aunque tengan interés en las operaciones navales, no están en posición de desarrollar e implementar Legislación aplicable a las Armadas.

Quizás, para evitar duplicación, lagunas y carencias en seguridad, es importante para las Armadas trabajar conjuntamente con las Sociedades de Clasificación en el desarrollo de unas disposiciones eficaces y sostenibles. El desarrollo de Reglas para Buques de Guerra (Naval Ships Rules) por varias Sociedades de Clasificación es la mayor contribución para trabajar en esta área.

La idea de cooperación para formular un SOLAS Naval se remonta a los años noventa. En septiembre de 1998, las Sociedades de Clasificación de los Estados miembros de la OTAN se reunieron para establecer vínculos con la propia OTAN. En la reunión de constitución de la “Naval Ship Classification Association” (NSCA) en mayo de 2002, el marco de cooperación fue definido según los siguientes “Terms of Reference” (Términos de referencia):

- Promover los estándares de Seguridad en el mar.
- Promover medidas para proteger el medio ambiente marino
- Promover y desarrollar estándares operativos comunes.
- Empezar I+D de apoyo a lo anterior
- Comunicar las opiniones y acuerdos de la Asociación a la OTAN

La filosofía del SOLAS es aplicable a barcos mercantes y no es completamente transferible a buques de guerra: los transpondedores radar son completamente desaconsejables para las características de sigilo que debe tener un Buque de Guerra, y que un bote salvavidas sea de color naranja difícilmente se puede considerar como una mejora óptica en un Buque de Guerra. Esta lista sería demasiado larga, y nos sirve para demostrar que los requisitos de la seguridad civil deben ser adaptados a las necesidades de la Fuerza Naval. Un Buque de Guerra tiene requisitos de firma acústica, firma electromagnética, firma radar, guerra electrónica, guerra antisubmarina, antiaérea, etc. que un buque civil no tiene.

De todos los convenios internacionales que se ocupan de la seguridad marítima, el más importante es el “SOLAS”. Es también uno de los más antiguos, habiéndose adoptado la primera versión del mismo en una conferencia celebrada en Londres en 1914. Desde entonces ha habido otros cuatro “SOLAS”, el segundo fue adoptado en 1929 y entró en vigor en 1933; el tercero se adoptó en 1948 y entró en vigor en 1952; el cuarto fue adoptado, bajo los auspicios de la “OMI”, en 1960 y entró en vigor en 1965; mientras que la versión actual se aprobó en 1974 y entró en vigor en 1980.

En el “SOLAS” se ha prestado atención a muchos aspectos de la seguridad en la mar. La versión de 1914, por ejemplo, incluía capítulos sobre seguridad de la navegación, construcción, radiotelegrafía, dispositivos de salvamento y prevención de incendios. Estos temas todavía siguen figurando como capítulos separados en la versión de 1974.

Pero volviendo al tema del amarre, destacar y recordar lo ya mencionado de que 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. [3]



Ilustración 123

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. [125]

Para buques de gran desplazamiento con máxima rigidez en el atraque son más adecuados los cables de acero, ya que presentan la menor elasticidad, disponen de mayor resistencia a la rotura, y por su menor diámetro permiten su arrollamiento en carretes. No obstante, los primeros cabos que deben darse durante la maniobra de atraque son los de fibra sintética, por ser más elásticos y permitir mejor retención del movimiento de traslación del buque.

En cuanto al número de amarras requerido para un amarre seguro, depende mucho del criterio de los responsables, tanto de abordaje por parte del capitán u oficial de guardia, como ajenos al buque, como son el práctico, o bien del método y procedimiento de amarre que siga una determinada terminal, de tipo convencional, sea isla, monoboya, embarcadero, etc. Porcentajes de utilización por método de amarre pueden ser:

Tabla 32

PM BUQUE	TIPO DE AMARRE				
	COSTADO	CAMPOBOYAS	MONOBOYA	POPAMUELLE	MUERTOS
10 KT A 25 KT	85%	10%	–	2%	3%
25 KT A 60 KT	70%	15%	3%	2%	10%
MAYOR A 60 KT	52%	35%	8%	-	5%

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

Tabla 33

TIPO	LARG. PROA	TRAV. PROA	ESPR. PROA	ESPR. POPA	TRAV. POPA	LARG. POPA	TOTAL
PET < 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 < 20KT	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

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 2012), para este tipo de Buque que nos ocupa (Servicio no Restrungido), 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 de la referencia anterior se tiene que:

$$NE = 2250$$

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

Un buque de guerra de este porte suele incorporar un sistema de amarre que consta de tres áreas: proa, popa y centro, provistas de adecuados elementos de amarre. Se deben proveer suficientes elementos para afirmar el buque por proa mediante un largo, un través y un spring. Por popa se dispondrá también de medios para el amarre por largo, través y spring.

En la zona central se suele disponer de bitas y apóstoles para facilitar el amarre y la maniobra de los remolcadores.

Las alturas verticales relativas entre bitas y guías deben ser tales que una estacha a través de una guía pueda quedar aproximadamente paralela con la parte baja de la bita.

En la zona de proa se suelen utilizar los cabirones de los molinetes, mientras que en la zona de popa se suele disponer de dos cabrestantes hidráulicos accionados por una unidad hidráulica con dos bombas. Dicha unidad suele estar interconectada con ambos cabrestantes de modo que se pueda accionar uno u otro cabrestante, con cada una de las bombas.

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 (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 fragatas 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 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: proa y popa, provistas de adecuados elementos de amarre, y se dispondrán en ambas zonas, suficientes elementos para asegurar el buque tanto por proa como por popa, mediante un largo, un través y un spring.

Para la zona de proa, se suelen instalar dos cabirones, asociados a cada uno de los molinetes de anclas. Para la zona de popa, se puede instalar un cabrestante.

En la disposición y dimensionamiento de bitas y guías, se debe tratar de cumplir en la medida de lo posible con las exigencias que imponen los tránsitos por el Canal de Panamá y Canal de Suez.

Los elementos principales que conformarán los equipos de amarre serán los siguientes:

➤ Zona de Proa:

- 2 cabirones asociados a los molinetes de anclas.
- 1 guía cerrada en la proa (para maniobra de amarre y remolque).
- Bitas dobles.
- Guías de amarre en los costados.
- Carreteles motorizados para líneas de amarre.

➤ Zona de Popa:

- 1 cabrestante eléctrico o electrohidráulico.
- 1 guía cerrada para maniobra de amarre y remolque.
- Guías de amarre en los costados y a popa.
- Bitas dobles.
- Carreteles motorizados de estachas.

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

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

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 al 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)

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

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

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

De acuerdo a un catálogo de estachas, se podrían seleccionar como posibles estachas de amarre a considerar las siguientes:

- Diámetro: 44 mm.
- Longitud: 180 m.
- Carga mínima de rotura: 371 kN.
- Material: Polipropileno de alta densidad.

Para finalizar el análisis de los buques de guerra, se pasará a estudiar un portaaviones: [131]

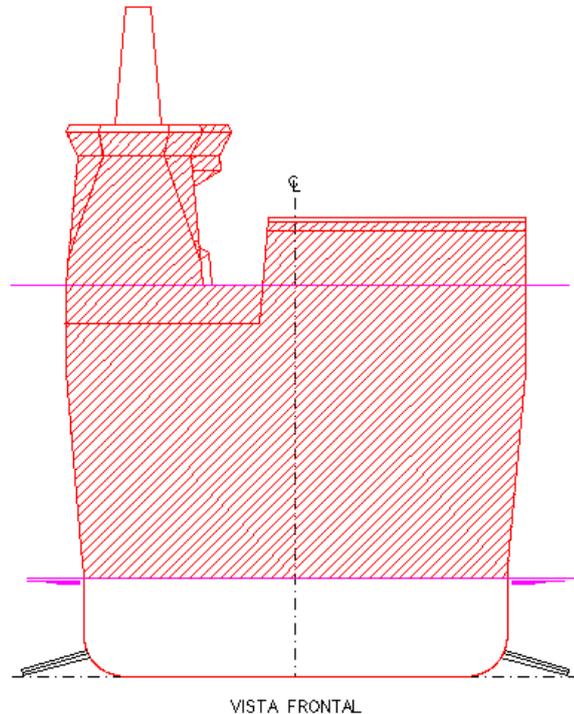


Ilustración 124

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:

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

Un buque de este porte incorporará equipos de amarre en las áreas de proa, áreas centrales y áreas de popa: [117]

a) Zona de Proa:

- 2 Chigres con un tambor cada uno asociados a los molinetes de anclas
- 1 Chigre de amarre con dos tambores
- 1 Guía cerrada en la proa para maniobra de amarre y remolque

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- 1 Cáncamo de remolque
 - Bitas dobles
 - Guías con rodillos cerradas en los costados
 - Rodillos con pedestal
 - Carretel para línea de amarre de respeto
- b) Zonas Centrales:
- 1 Chigre de amarre con un tambor
 - Guías cerradas con rodillos
- c) Zona de Popa:
- 2 Chigres de amarre con dos tambores
 - 1 Guía cerrada para maniobra de amarre y remolque
 - 1 Cáncamo de remolque
 - Guías cerradas en los costados y a popa
 - Bitas dobles
 - Rodillos con pedestal.
 - Carretel para calabrote de remolque.

En la zona de maniobra de proa se pueden instalar tres chigres de amarre de eje horizontal, uno en cada zona de amarre central y en la zona de maniobra de popa dos, uno en cada costado.

Los instalados en la zona de maniobra de popa pueden contar con dos tambores con capacidad de maniobra independiente en cada tambor. Los instalados en la zona de maniobra de proa suelen contar con tambores asociados a los molinetes y con dos tambores el chigre independiente, todos con capacidad de maniobra independiente de cada tambor. Los de las zonas centrales pueden sólo contar con un tambor.

El buque suele estar provisto de un carretel para la estiba de una línea de amarre en la zona de proa y un calabrote de remolque en la zona de popa. Todos los chigres de amarre suelen disponer de un sistema automático de estiba de las líneas de amarre en los tambores.

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.

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. 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
- Nº de estachas consideradas: 6
- Carga de rotura mínima: 94631 kg

A la vista de lo anterior y teniendo en cuenta las menas de fabricación normal, se pueden elegir las siguientes estachas de amarre: Estachas de polipropileno de alta densidad de 9 pulgadas de circunferencia (228.6 mm), 72 mm de diámetro, 200 m de longitud y 933 kN de carga de rotura. Como se dijo con anterioridad, se podrían considerar otro tipo de estachas de similar carga de rotura.

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
- Nº 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.

6.3 COMPARATIVA DE LOS SISTEMAS NOVEDOSOS DE AMARRE

En el apartado 4.2.4 de esta tesis fueron explicados los diferentes sistemas novedosos de amarre existentes clasificados en función del principio físico utilizado para el amarre.

A continuación, y como adelanto del análisis económico que se realizará en el apartado siguiente, se va a realizar una tabla comparativa de los diferentes

sistemas ya analizados en el inicio de la tesis, indicando características de los mismos tales como: tipo de energía de funcionamiento, abatimiento (retractilidad) sobre el muelle, adaptabilidad a buques ya construidos, sistema de automatización en las líneas de amarre, existencia de líneas de amarre adicionales al sistema novedoso, dependencia del estado del viento, coste, etc.

Tabla 34: Comparativa sistemas novedosos amarre

TIPO DE AMARRE	Bolardo Semiautomático	Hidráulico (Shore-Tension)	Succión (Cavotec)
Sistema de trincaje	Amarras	Amarras	Ventosas
Tipo de accionamiento	Hidráulico/Eléctrico	Hidráulico	Vacío
Características	Bolardo extensible	Moderado	Amarre hidráulico automático
Abatimiento sobre muelle	SI	NO	SI
Adaptación a buques existentes	SI	SI	SI (previo estudio)
Adaptación a muelles existentes	SI	SI	SI (previo estudio)
Uso de amarras	SI	SI	SI (previo estudio)
Automatización de líneas de amarre	NO	SI	No corresponde
Afectación por el viento	SI	SI	NO (previa selección del modelo adecuado)
Flexibilidad	MEDIA	MUCHA	POCA
Uso Actual	Buques pequeños	Buques gran porte	Ferrys/Granelleros/ Portacontenedores
Coste	MEDIO	BARATO	CARO

6.4 VIABILIDAD FUTURA DE LOS SISTEMAS NOVEDOSOS DE AMARRE. APLICACIÓN AL PUERTO EXTERIOR DE FERROL

El puerto exterior de Ferrol está situado en el NW de la Península Ibérica, en el interior de la ría a la que da nombre, conectado al océano Atlántico mediante un canal de 4 Km., 200 m de ancho en su parte más angosta y 12 m de calado. Su actividad es comercial, con un tráfico compuesto por graneles sólidos, líquidos y mercancía general. [129]

Las expectativas de crecimiento del tráfico, con horizonte en el 2025, determinaron que la Autoridad Portuaria de Ferrol se planteara la necesidad de nuevas instalaciones que pudieran atender un tráfico compuesto por buques de mayor tamaño y requerimientos más exigentes en su maniobra y en el servicio que ha de prestárseles.

Ante estas circunstancias, a principios de los años 90 se comenzaron los estudios para la ampliación del puerto, finalizando en el año 2000 con la redacción del proyecto de construcción, habiendo quedando emplazado en la bocana de la ría en la zona del cabo Prioriño, en la cual los oleajes del 4º cuadrante -NW- son los de mayor incidencia.

El nuevo puerto consta de: un dique de 1120 m, que arranca del cabo Prioriño a unos 350 m del acceso a la ría y tiene adosado un atraque para graneles líquidos, un muelle de 1515 m para graneles sólidos y mercancía general con calado de 20 m y posibilidad de atraque para cuatro buques de 300 m de eslora y una gran explanada.

Los ensayos realizados fueron de “agitación y barcos atracados” y “estabilidad y funcionalidad del dique de abrigo”. Para la medición del oleaje en el modelo se utilizaron sondas resistivas colocadas en 37 puntos: 36 de control en la dársena separados 2 m y uno de referencia en la zona de generación del oleaje (profundidades intermedias).

Además, estos ensayos permitieron estimar de modo previo y orientativo la operatividad del puerto mediante la obtención de un índice de excedencia puntual: horas o días/año que es superada una altura de ola límite para la operación del buque debida a una dirección de oleaje y a la de todas las que inciden en el puerto. No obstante, son los ensayos de barcos atracados los que determinan, con mayor exactitud, la operatividad de los atraques.

Para ello, de acuerdo con el correspondiente proceso estadístico de aplicación, se combinan las medidas de agitación registradas con las frecuencias de presentación del oleaje obtenidas de los estudios de clima marítimo, teniendo en cuenta los límites de operación de los buques y adoptando las siguientes hipótesis: relación (K_{sv}) entre la altura de ola significativa (H_s) y la visual (H_v): 0,625 (Rom 03-91) y distribución de Weibull para el ajuste del régimen direccional medio del oleaje. De acuerdo con este procedimiento las excedencias obtenidas en horas/año son las indicadas en la tabla:

Tabla 35

Hs límite / Atraques	Hslím = 0,30 m	Hslím = 0,75 m	Hslím = 0,50 m
Muelle zona W	18 h/año	1 h/año	
Muelle zona E	120-140 h/año	1 h/año	
Pantalán dique			16-48 h/año

El objeto de los ensayos de barcos atracados es conocer la operatividad y la seguridad de los buques en sus atraques. Para ello se seleccionan los buques tipo representativos de los que van a operar en el puerto, los cuales, reproducidos a escala, ubicados en los correspondientes atraques y sometidos al mismo oleaje que en el ensayo de agitación, permiten medir los movimientos del buque y las fuerzas en sus estachas y en las defensas, de forma que la comparación de estos valores con los considerados como admisibles o límites permitirán determinar su operatividad y seguridad.

En el caso de Ferrol los buques tipo ensayados fueron: un portacontenedor atracado en la zona Este del muelle y un metanero en el pantalán del dique, los cuales se encontraban entre los modelos disponibles ya construidos. Como movimientos admisibles se adoptaron los propuestos por PIANC (1995). Las estachas y defensas se dispusieron de forma similar a lo que es habitual en este tipo de buques

Los resultados (movimientos y esfuerzos en estachas y defensas) que se obtuvieron, tras un primer análisis de las mediciones, fueron sus valores significantes y máximos durante el ensayo, extrapolados a 1000 movimientos. Después, a partir de los valores máximos, mediante ajuste logarítmico, se calcularon los máximos movimientos y fuerzas en 8 h (carga-descarga) y, finalmente, estos valores se relacionaron con la Hs medida en el punto de referencia, obteniendo así la correspondencia de valores admisibles o límites de movimientos y fuerzas y la Hs en el exterior del puerto.

Además este ensayo permite obtener la operatividad del buque atracado: horas o días/año que se supera un movimiento o fuerza admisible en cada dirección de oleaje ensayada y en todas en conjunto, determinando así la operatividad global de cada atraque.

La tabla siguiente muestra para el portacontenedor las excedencias de la variable -movimiento o fuerza- que para cada dirección es crítica, resultando aceptables según las recomendaciones españolas (ROM 3.1-99).

Tabla 36

MUELLE	DIR. OLEAJE	Hs límite (m)	Variable crítica	Excedencia (h/año)
PORTACONTENEDOR	W-050-N	3.16	Alteada	3.0
	S-078-W	1.6	Alteada	38.3
	W-010-N	3.56	Deriva	0.4

6.4.1 VACUUM BASED AUTOMOORING (TTS GROUP)

Este sistema, de amarre por vacío, ya explicado en el punto 4.2.4, se podría proponer para instalación. Sería necesaria una unidad cada treinta metros de muelle, por lo que para equipar un atraque para un buque de gran porte, supongamos por ejemplo un buque de 400 m de eslora, se necesitarían del orden de 6,5 millones de euros (cada unidad cuesta aproximadamente 500000 €).

Este muelle estaría operativo con vientos de hasta 20 m/s, según indica el fabricante. Para velocidades mayores debería acudir a un amarre tradicional.

Con los datos anteriores puede deducirse un coste por metro lineal de muelle equipado, del orden de 16250 euros.

Por lo que se conoce, este sistema ha sido empleado con buques ro-ro, pero no con buques de gran porte.

6.4.2 MOORMASTER (CAVOTEC)

Esta empresa dispone de distintos modelos, siendo el precio de las unidades que podrían aplicarse en el puerto de Ferrol (Moormaster 200 ó Quaysailor 20), de unos 390000-445000 €/ud, proponiéndose la instalación de una unidad cada 12-13 metros.

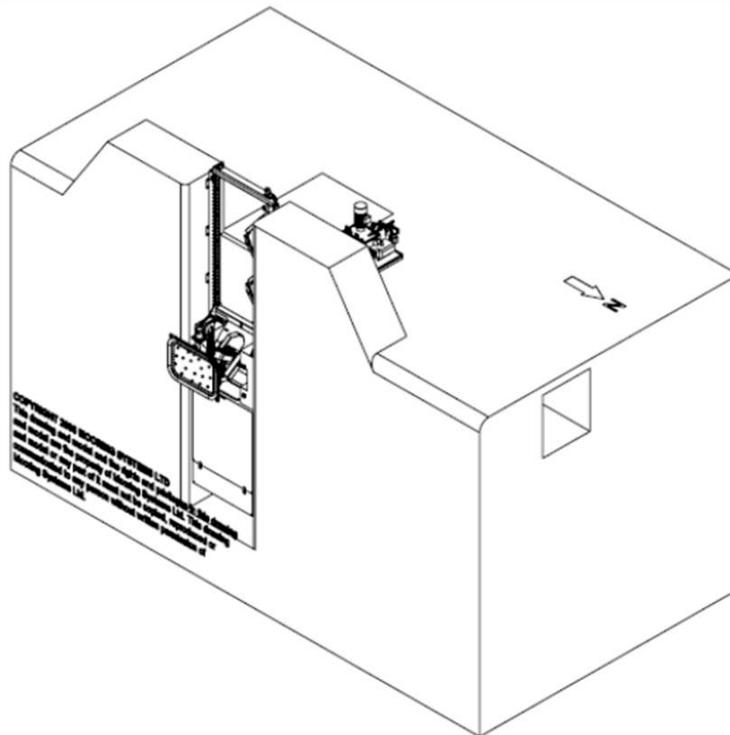


Ilustración 125

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

Para decidir esta propuesta he tomado como referencia una modificación que se ha realizado en el año 2011 en el puerto de Karara Mining, Geraldton, en el oeste de Australia. Este puerto apostó por incorporar los “MoorMaster 200”, como en esta tesis se propone para Ferrol, con una capacidad de “12x20 tons”, para principalmente alimentar el mercado de amarres de graneleros tipo “Panamax”.

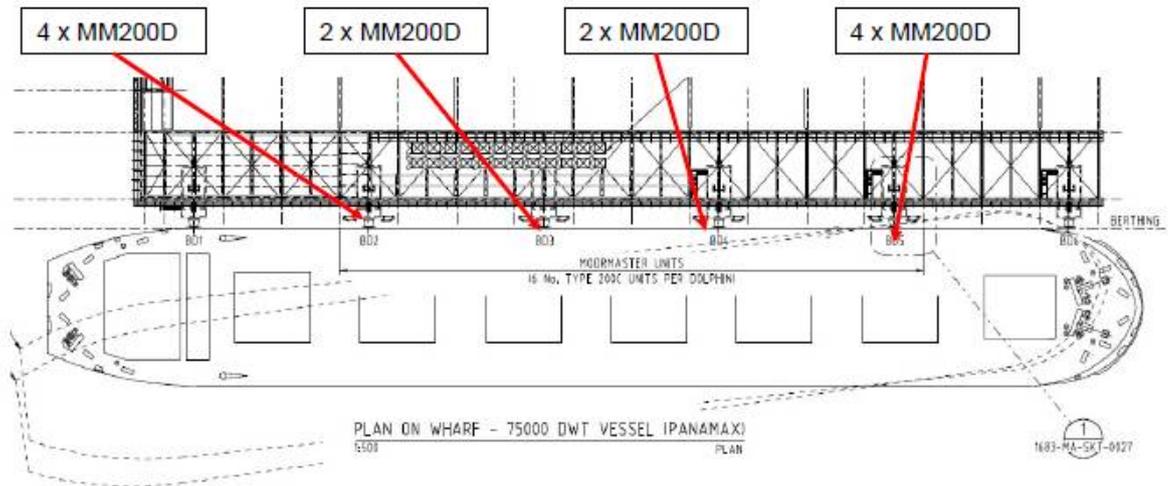


Ilustración 126

A continuación se procede a identificar la zona del puerto exterior de Ferrol donde sería factible el incorporar los sistemas de amarre automático:



Ilustración 127



Ilustración 128

Observando las figuras anteriores, y la siguiente, se puede observar que los muelles poseen un sistema de defensas que habrán de tenerse en cuenta a la hora de querer instalar los sistemas de amarre automático.

Se puede también comprobar que justo a la altura de cada defensa, existe un bolardo de 150 toneladas en el muelle.

Estas defensas, con las que ya cuenta el muelle, están instaladas cada 30 metros, tal como se indica a continuación.

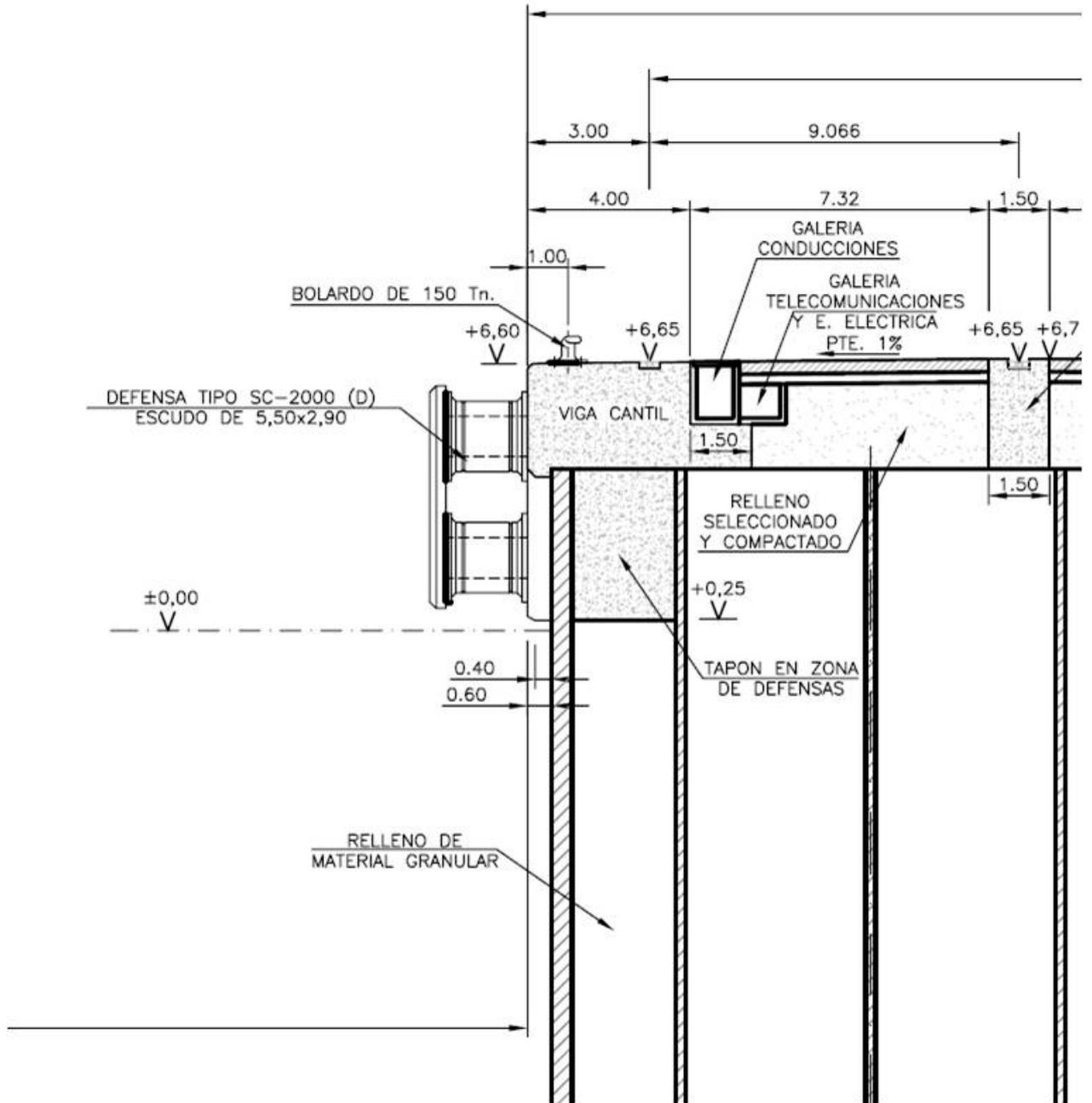


Ilustración 129

Las defensas que están instaladas cada 30 metros, se aprecian en los siguientes croquis. Igualmente están indicados los dispositivos propuestos, que deberían alternarse cada 12 metros.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

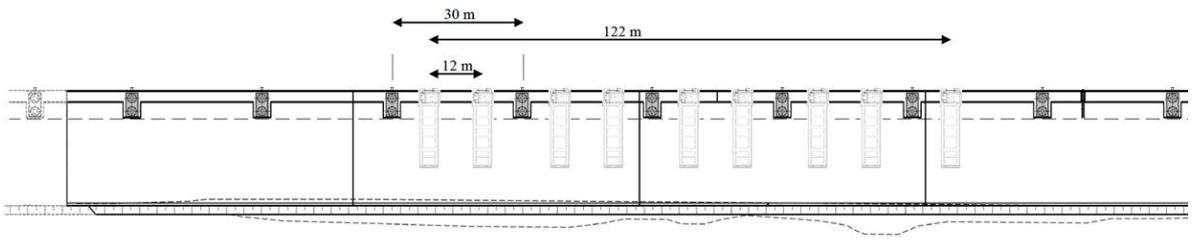


Ilustración 130

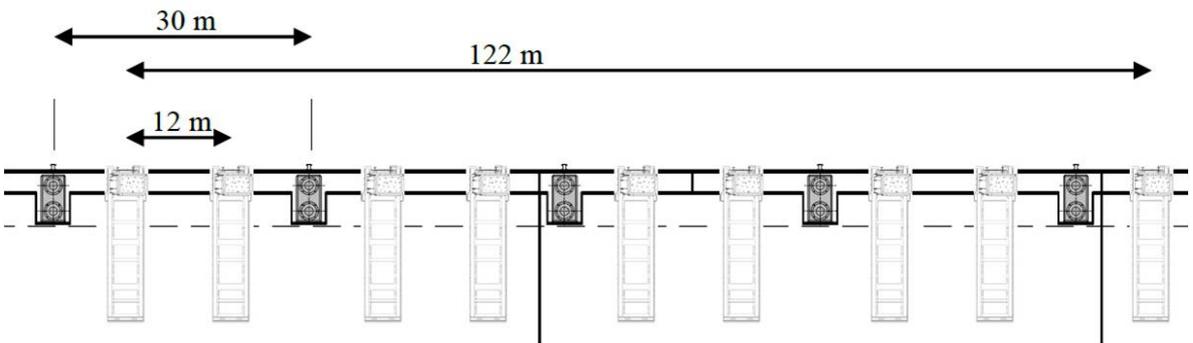


Ilustración 131

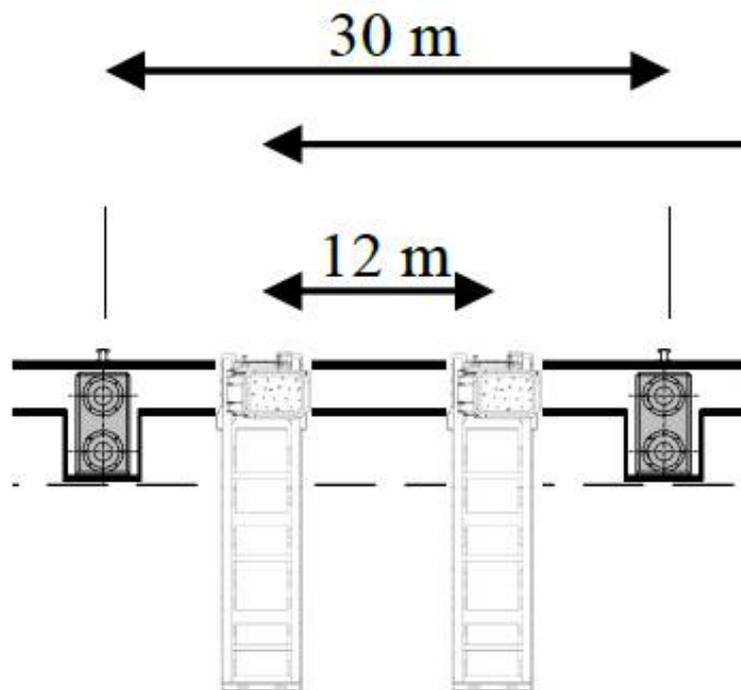


Ilustración 132

Una vez introducidos los cambios, este sería el aspecto del muelle modificado:

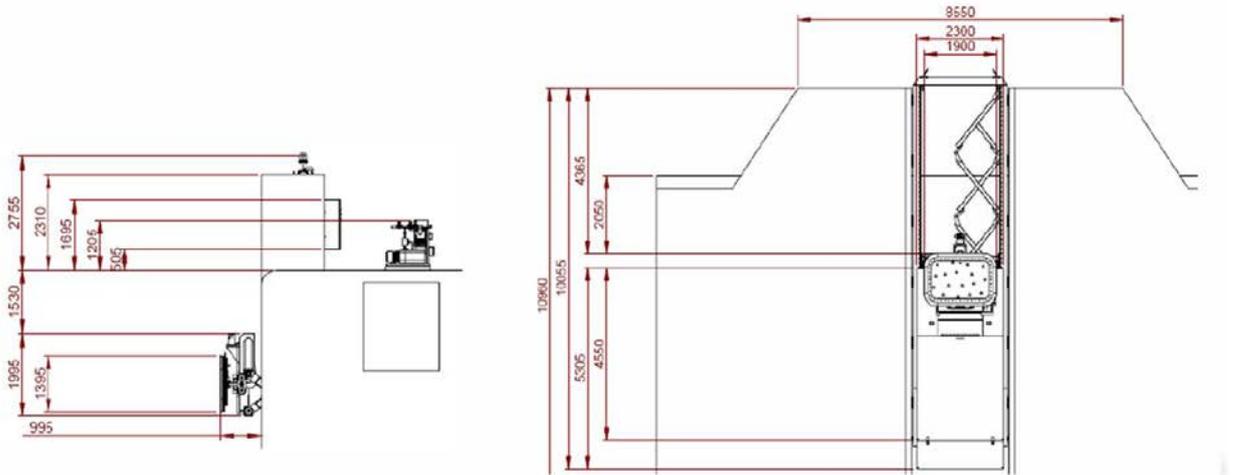


Ilustración 133



Ilustración 134

Con los datos anteriores, y los expuestos al comienzo de este apartado, puede deducirse un coste por metro lineal de muelle equipado, del orden de 30000 euros.

Entre las ventajas que se podrían obtener con la modificación propuesta se podrían destacar:

- Necesidad de menor infraestructura de muelles al no necesitar construir plataformas y duques de alba.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- Capacidad para mantener la productividad del muelle con olas de un metro (y con olas largas de 0,2 m).
- Mejora en la seguridad del personal.
- Ahorro en estachas de amarre y en mantenimiento de chigres y cabrestantes.
- Ahorro de tiempo en las maniobras de atraque y desatraque.

El sistema ha sido empleado con ferries, con graneleros y portacontenedores de gran tamaño (Salalah).

6.4.3 SHORETENSION (KRVE)

Cada unidad tiene un coste aproximado de 65.000 €, a lo que debe añadirse el coste de las estachas “dyneema”, fuertemente recomendadas por el fabricante, por lo que se puede pensar, con más exactitud, en un coste del orden de 75.000 €/ud.

Para buques de gran porte se propone la utilización de cuatro unidades. Para buques menores, sería suficiente con el uso de dos.

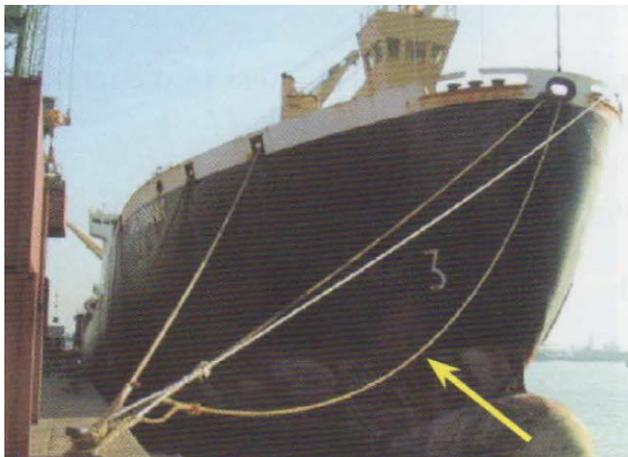
Es un sistema de amarre que no sustituye las amarras habituales del buque, sino que las complementa.

Este sistema puede ser muy interesante para aquellos buques, de costados poco paralelos al muelle, en los que no sería muy recomendable el sistema anterior, como por ejemplo los nuevos portacontenedores.

6.5 ERRORES FRECUENTES DETECTADOS EN EL AMARRE

6.5.1 BÚSQUEDA Y ANÁLISIS DE AMARRES INADECUADOS. ESTADO ACTUAL

- Estachas sometidas a una tensión incorrecta: [115]



Las estachas deben estar con la tensión adecuada y los esfuerzos deben ser dirigidos a obtener un correcto reparto entre tensiones.

Ilustración 135

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- Zona de amarre obstruida por estachas, comprometiendo la seguridad:



Ilustración 136 (Fuente: Vervloesem 2009)

Las zonas de amarre son zonas de trabajo peligrosas y deben permitir a la tripulación circular de manera segura. Las estachas (y demás equipo) en la zona de amarre deben estar convenientemente situadas para reducir riesgos.

- Daño por abrasión externa de las estachas:



Ilustración 137 (Fuente: Vervloesem 2009)

Las líneas de contacto con las estachas deben ser periódicamente revisadas para reducir el efecto de la fricción.

- Abrasión de la superficie en una estacha en la guía Panamá:



Ilustración 138 (Fuente: Vervloesem 2009)

El área de contacto debe estar sujeta a un buen mantenimiento y conseguir suavidad.

- Exterior de la estacha donde se pueden observar evidentes signos de daño por calor:



Ilustración 139 (Fuente: Vervloesem 2009)

El daño por calor puede ser debido por fricción o por contacto directo con fuentes externas de calor.

- Estachas sometidas a temperaturas bajo cero:

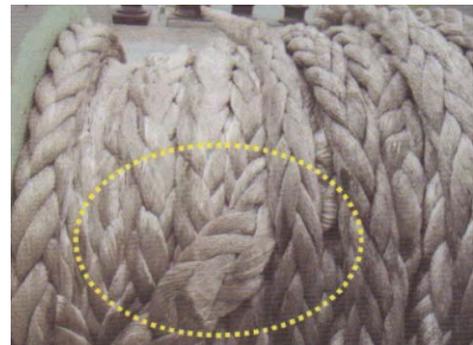


Ilustración 140 (Fuente: Vervloesem 2009)

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

Para evitar la exposición directa al hielo y a la nieve, las estachas deben ser cubiertas en la medida de lo posible.

El frío afecta a la flexibilidad y dureza de la estacha. Las características de éstas cuando están sometidas a frías temperaturas deben estar disponibles a bordo.

- Presencia de hielo en las estachas:



Ilustración 141 (Fuente: Vervloesem 2009)

A una estacha congelada debe permitírsele deshacerse y debe ser secada antes y después de usarla (tan rápido como sea posible)

- Evidencias de daños por aplastamiento en estachas:



Ilustración 142 (Fuente: Vervloesem 2009)

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- Discontinuidad en el diámetro del trenzado de una estacha:



Ilustración 143 (Fuente: Vervloesem 2009)

- Estachas manchadas de grasa:



Ilustración 144 (Fuente: Vervloesem 2009)

- Estacha rozando contra la estructura de la maquinilla:



Ilustración 145 (Fuente: Vervloesem 2009)

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- Ángulo incorrecto de salida de la estacha hasta la guía:



Ilustración 146 (Fuente: Vervloesem 2009)

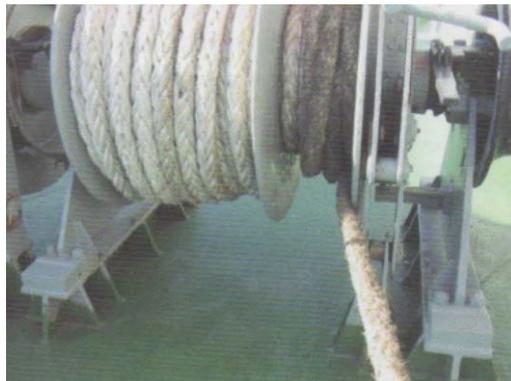


Ilustración 147 (Fuente: Vervloesem 2009)

- Estachas aplastadas en el chigre:



Ilustración 148 (Fuente: Vervloesem 2009)

6.5.2 RECOMENDACIONES FUTURAS

Las marcas de aviso o peligro son muy importantes para la seguridad de la tripulación de nuevo embarque, alumnos de náutica y visitantes. También son importantes para los tripulantes más experimentados, que tienden a confiarse, a veces por el cansancio y otras veces por estar demasiado ocupados en su trabajo para darse cuenta de que se encuentran ante una situación peligrosa. El resaltar y remarcar las marcas de peligro puede ser muy efectivo, sobre todo si se comparan dos estaciones, una con marcas, y otra sin ellas. [31] [104]

- **Zonas de peligro:**

En la mayoría de los accidentes graves en las zonas de amarre están implicadas líneas de amarre que fallan y rompen. Los marinos experimentados son conscientes de que existe una zona de trabajo peligrosa cuando existe una línea de amarre con tensión. Pero, sin embargo, es extraño el ver que los tripulantes tengan esto en cuenta cuando trabajan en cubierta.

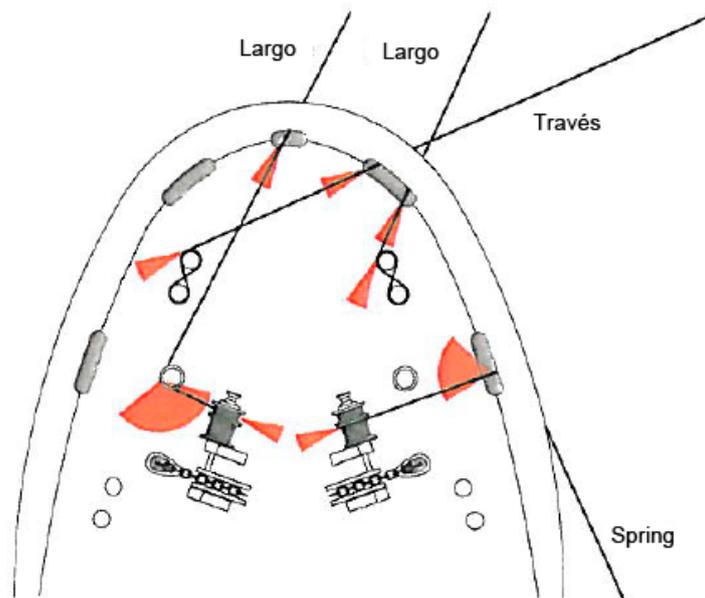


Ilustración 149: Sectores de peligro (en rojo)

Si las zonas de peligro están pintadas sobre la cubierta, la tripulación podrá estar en alerta ante el peligro cuando se den cuenta que están pisando en una de las zonas que ha sido destacada y pintada como peligrosa.

Pintando estas áreas también se ayuda a los oficiales que supervisan la maniobra a que mantengan a toda la tripulación alejada de las líneas que estén bajo tensión.



Ilustración 150: Marcado de zonas de peligro



Ilustración 151: Marcado de zonas de peligro

Además al pintar las zonas de peligro se consigue que la tripulación pueda ver claramente esas áreas de peligro, sin tener que estar pensando específicamente en ello, lo cual podría distraerles de su trabajo.

Cuando una línea bajo tensión falte (parta), actuará como un látigo sobre el punto que esté soportando la tensión.

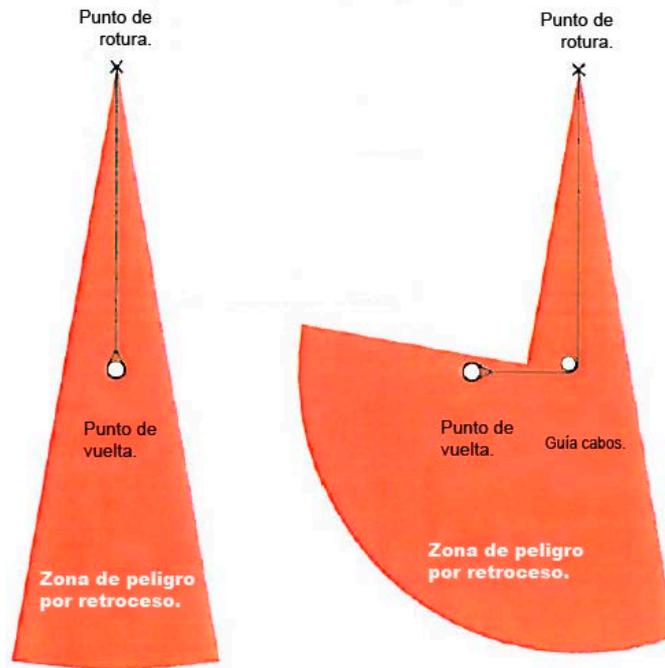


Ilustración 152: *Puntos de rotura en zonas de peligro*

6.6 ACCIDENTES EN OPERACIONES DE AMARRE

6.6.1 ESTUDIO Y ELABORACIÓN DE ESTADÍSTICAS RELACIONADAS CON ACCIDENTES OCURRIDOS DURANTE LAS OPERACIONES DE AMARRE

La mayoría de los accidentes relacionados con los equipos de amarre, ocurridos en los últimos veinte años, han finalizado con daños de alto coste, tanto materiales como personales, que se han traducido en muchos marinos heridos. [127] [130]

Muchos de estos accidentes han ocurrido durante el manejo de cabos y cables, donde a veces los cabos han partido (53 %) o se han salido de tambores, cabirones y bitas (42%), provocando golpes, atrapamientos y sacudidas. Sólo un 5% de los accidentes se ha producido por fallos de los equipos de amarre. [44]

La rotura de cabos y cables ocurre normalmente durante las operaciones generales de amarre, aunque los fallos del equipo en el remolque, su mal uso, y la meteorología, también juegan un papel importante en los accidentes. [37]

Los accidentes no originados por rotura de cabos generalmente se originan, durante las operaciones de amarre, por atrapamiento de la tripulación con dichos cabos, o por sacudidas de los mismos sobre las personas cuando se escapan de los cabirones, tambores y bitas.

Analizados accidentes de los últimos diez años, las siguientes figuras resumen lo explicado en este apartado:

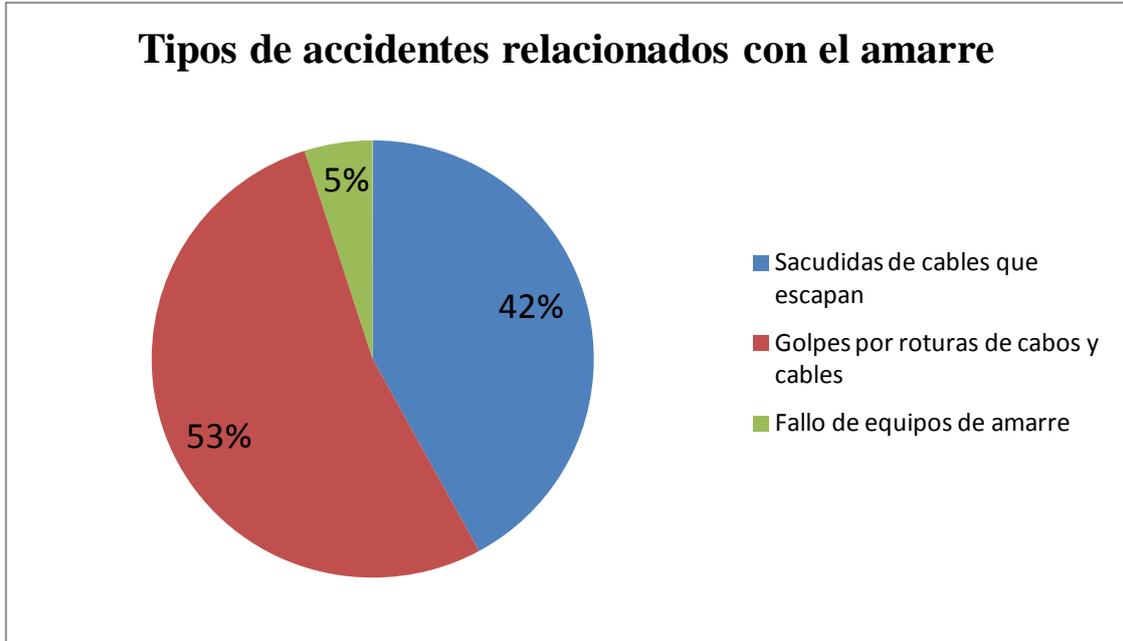


Ilustración 153

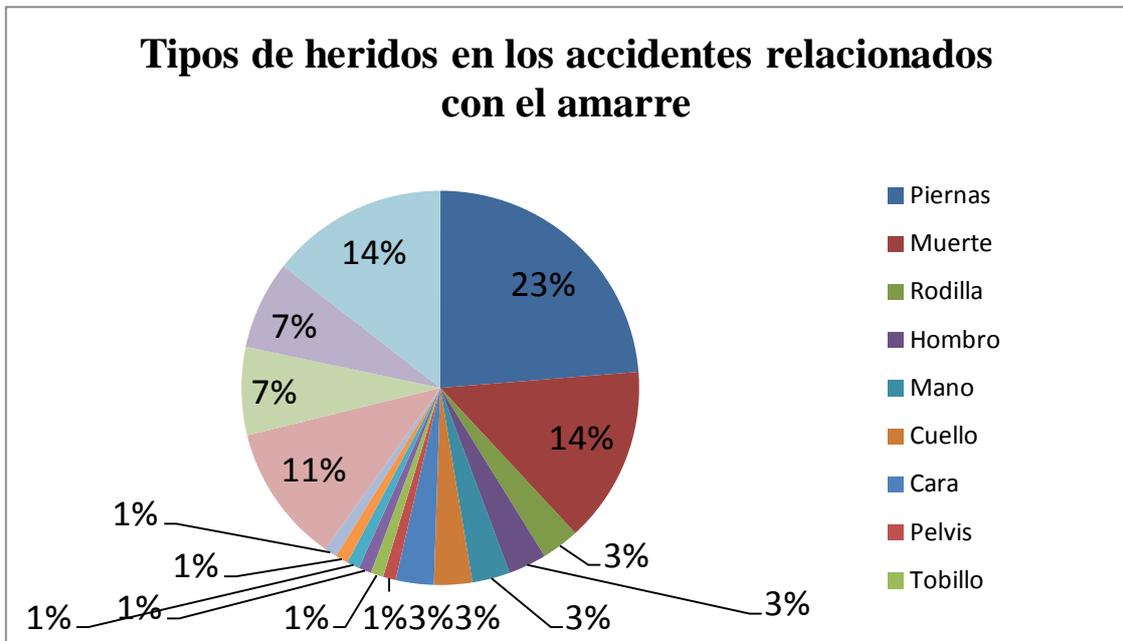


Ilustración 154

- **Evaluación de riesgos en estaciones de amarre:**

La evaluación de riesgos se debe realizar sobre todos los lugares susceptibles de realizar operaciones relacionadas con el amarre a bordo; observándolos detenidamente, con el fin de buscar los peligros que puedan causar lesiones a los tripulantes. Las zonas de amarre contienen gran parte de los numerosos peligros del buque, y ponen de relieve esto como punto de partida.

- **Peligros:**

Los riesgos físicos a destacar no se deben limitar a guías, bitas y cornamusas. También se deben incluir estructuras tales como plataformas de los molinetes, escobenes, gateras y tapas.

- **Ejemplos de zonas de amarre muy inseguras y peligrosas:**

Por desgracia, esta foto muestra una imagen muchas veces reconocida por los inspectores de buques. No sólo están los chigres, oxidados y mal cuidados, sino que toda la estación de amarre se encuentra escasa de mantenimiento, y con riesgo potencial de provocar accidentes por la falta de cumplimiento de las normas: [130]



Ilustración 155: Chigres en mal estado

- La zona de amarre está sucia y todas las superficies exigen la necesidad de un buen mantenimiento.
- Todas las superficies están pintadas del mismo color, escondiendo peligros tales como cajas de estibas, plataformas de los molinetes, escotilla de acceso al castillo y bitas, entre otros.
- No hay marcas, avisos o advertencias de peligros.

- **Ejemplo de accidente real:**

Un buque atracado y amarrado fue cargado hasta que su cubierta quedó por debajo del nivel del muelle. En ese momento alertaron desde el muelle indicando que el spring de proa se había enganchado con un cáncamo del costado del barco. El spring, una estacha de cable, estaba tensa y existía la posibilidad de que en estas condiciones pudiera faltar. A continuación se hizo un esfuerzo para intentar liberar la línea, lascando del molinete, pero debido a la curvatura de la parte de proa del casco, y a la extremada longitud del cable, no se liberaba. Entonces se tensionó la amarra con la esperanza de que se soltara, pero cuando la línea se liberó, era tal la tensión que estaba soportando que empezó a oscilar arriba y abajo, invadiendo el interior del barco y golpeando a un alumno de máquinas en la cabeza. [56]

El alumno de náutica no estaba involucrado en la maniobra y nadie se cercioró de su presencia hasta después del accidente. Tampoco disponía de casco. En este accidente la línea de spring era demasiado larga. Existía disponible un bolardo, más cercano a la proa del barco, que no fue utilizado. Si se hubiera utilizado ese otro bolardo, probablemente también se hubiera enganchado el spring, pero es improbable que hubiera invadido la cubierta al zafarse.

Este incidente pone de relieve la necesidad de controlar a las personas que estén presentes en las estaciones de amarre, durante las operaciones correspondientes. Asimismo se debe controlar que todo el personal disponga de los equipos de protección EPI's necesarios y eficientes para las operaciones de amarre.

6.6.2 PRECAUCIONES Y ACCIONES QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA

- **La importancia de prestar atención a los senos formados por las estachas:**

Los marinos experimentados conocen el peligro de estar de pie junto a un seno o amarra enrollada, por lo que resulta sorprendente que existan números tan significativos de accidentes con lesiones personales durante las operaciones de amarre. [57] [58]

El siguiente esquema forma parte de un informe de investigación sobre la muerte de un marino que fue arrastrado, a través de un conjunto de bitas, por una línea de amarre.

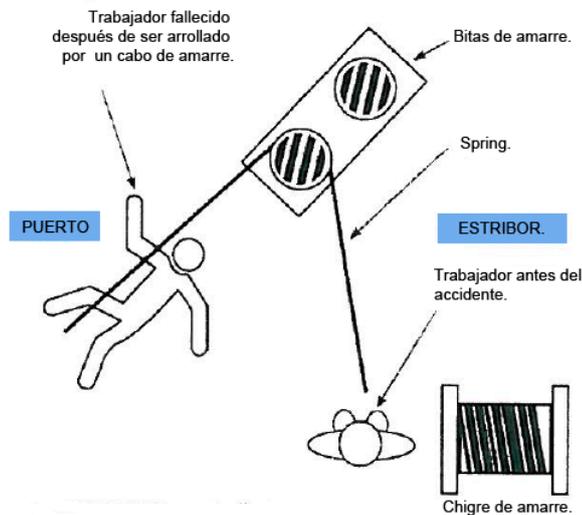


Ilustración 156: Trabajador fallecido

Este accidente también pone de relieve las cuestiones de falta o incumplimiento de procedimiento y de exceso de confianza, ya que el equipo de la estación de amarre de proa informó al puente indicando que todas las estachas estaban claras, cuando todavía una estaba en el agua. Nadie se cercioró de que a medida que el buque se alejaba del muelle, una de las estachas se enganchó en una defensa del cantil del mismo.

Y para desgracia final, un desafortunado marinero que se encontraba cobrando la estacha, introdujo el pie sobre un seno de la misma, e instantes después la amarra cobró tensión, siendo el marinero atrapado y arrastrado a través de las bitas. Se debe tener en cuenta que a veces, durante las maniobras, no se observan bien los senos que forman las estachas, por lo que los usuarios deben estar atentos para no introducir los pies en los senos que formen las amarras.

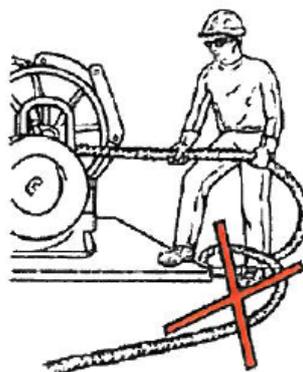


Ilustración 157: Maniobra desafortunada

- **Personal de las estaciones de amarre:**

Las maniobras de amarre son peligrosas para la tripulación, debido a las grandes cargas y tensiones que soportan las estachas, lo que conlleva un inminente peligro de rotura de las mismas. [127]

Sólo el personal que interviene en las operaciones de amarre debería estar presente en las estaciones de amarre durante las maniobras.

Debería ser una costumbre a bordo, que todo el personal con poca experiencia, tal como alumnos en las primeras etapas de su formación, que vayan a estar involucrados en las operaciones de amarre, deba estar bajo la supervisión y dirección de un marino experimentado. Se debe nombrar personal experimentado que garantice la seguridad de las personas con menos experiencia, y todos deben ser conscientes y preocuparse de que se esté llevando a cabo esa tarea.

Todo el mundo a bordo debe ser consciente de que sólo el personal que participe directamente en las operaciones de amarre debe estar presente en las mismas durante las operaciones de amarre.

A menudo nos encontramos con que el número de tripulantes a bordo en las maniobras no es el mínimo requerido para operar de forma segura durante la maniobra, por lo que es importante señalar que las operaciones de amarre no deben llevarse a cabo con menos tripulación que la que se considere necesaria para realizar el trabajo.

Siempre debe existir un mínimo de dos personas para cada puesto de amarre a lo largo de la operación. Incluso cuando estén instalados sistemas automáticos de amarre, debe estar siempre presente una segunda persona, pensando en la posibilidad de que puede surgir algún problema. [91] [92]

El capitán u oficial responsable de la maniobra no debe permitir que una sola persona ponga en funcionamiento un chigre o cabrestante y maneje la estacha al mismo tiempo. Este debe ser un trabajo para dos personas. Debe estar estrictamente prohibido el afirmar un cabo a una palanca de accionamiento y tirar de ella desde la posición en que se esté manejando la estacha. Si sólo existen dos tripulantes en cubierta para las operaciones de amarre, entonces deben trabajar juntos, primero en la estación de una de las cabezas y después en la otra.

6.7 ANÁLISIS DE NORMAS RELACIONADAS CON EL EQUIPO DE AMARRE

6.7.1 NORMAS DE: SSCC, ISO Y OMI

Los tres documentos más reseñables para analizar este campo del “amarre” son los siguientes: la circular 1175 de 2005 de la Organización Marítima Internacional (OMI) sobre los equipos de amarre y remolque en cubierta; los requerimientos de la IACS (Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación) en cuanto a amarre, fondeo y remolque, revisados en 2014; y la norma internacional ISO 3730

de 2012, sobre los chigres de amarre en buques y estructuras marinas. El objetivo perseguido en este capítulo será el identificar las analogías y diferencias existentes entre las características que cada entidad estipula para los chigres de amarre de buques en construcción. [59]

Este apartado pretende ser una síntesis de las normas y sugerencias establecidas por los tres entes con mayor autoridad en el ámbito naval, que son los ya mencionados con anterioridad. La O.M.I., los estándares ISO y las Sociedades de Clasificación.

Se procederá a resumir con brevedad lo expuesto por cada organización en sus diferentes reglamentos, y se analizarán las diferencias entre los citados documentos. En general la estructura ofrecida por la OMI y la IACS va a ser muy similar, siendo la ISO la que más se va a distanciar en lo referente a forma y contenido. [49] [50] [51]

Mediante sus documentos, las tres organizaciones definen su ámbito de aplicación. A excepción de la ISO, la información suministrada hace referencia al pertinente y correcto cumplimiento de la regla del SOLAS II-1/3.8 “Equipo de remolque y amarre”. La ISO 3730 es muy breve en este aspecto, limitándose a definir su ámbito de aplicación y referenciando otras normas ISO para el cálculo de las magnitudes de los elementos relacionados. [105]

Los documentos de la IACS y la OMI establecen a qué buques han de ser aplicados, y definen los equipos que tratan. Se aplican a todo los buques con un desplazamiento superior a las 500 GT, excluyéndose buques de alta velocidad y unidades off-shore. También explican qué se debe entender por líneas de amarre, elementos estructurales del casco y estándares industriales vigentes. En general IACS y OMI establecen qué parámetros y condiciones de uso deben cumplir los equipos desde una perspectiva de la explotación de los mismos, mientras que la ISO establece las dimensiones y pruebas a las que se les debe someter, acercándose más al ámbito del fabricante.

En lo referente a los elementos de remolque, en este apartado se definen las especificaciones recomendadas para los elementos del sistema de remolque de emergencia, que consistirán en:

- *Distribución de los elementos:* IACS y OMI establecen que todos los elementos destinados a soportar la carga del remolque han de estar situados sobre refuerzos de cubierta, a fin de contar con la suficiente integridad estructural para realizar el remolque sin perjuicio para el buque. Se aceptan distribuciones alternativas, siempre y cuando esté garantizado que se pueda soportar el esfuerzo. La norma ISO no se pronuncia en este aspecto.
- *Carga a considerar:* Se establece la SWL que se ha de considerar en el equipo, siempre y cuando el armador no especifique nada al respecto en el contrato. IACS y OMI tienen sutiles, pero importantes diferencias. En el caso de un remolque típico (maniobra de atraque), la MBL (según la IACS)

o la carga de diseño (según la OMI) ha de ser 1.25 veces mayor que la carga máxima en la línea de remolque. En caso de otro tipo de remolque (Remolque de escolta, por ejemplo), la OMI establece que la carga de diseño será el esfuerzo nominal necesario para romper la línea, definido por el propio documento en función del número de equipo. La IACS establece que la MBL será el esfuerzo nominal de rotura según el número de equipo, aunque la tabla no está incluida en el propio documento y dirige a la 10^o recomendación. En todo caso la tabla contiene los mismos parámetros que la adjunta por la OMI, y es más completa. La línea de aplicación del remolque ha de estar adecuadamente distribuida, a forma de que la carga no llegue a superar nunca el doble de lo previsto:

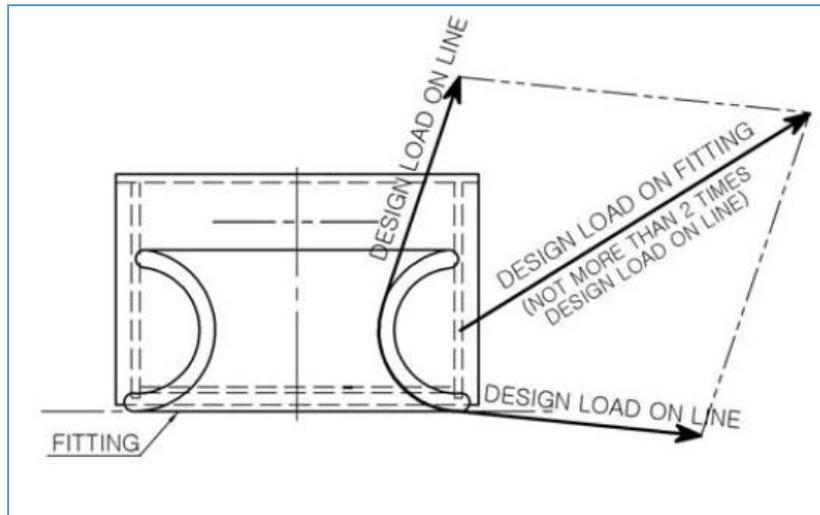


Ilustración 158: Cargas

- *Elementos de amarre:* IACS y OMI establecen que han de ser acordes al estándar ISO 3913 admitido por la administración. En cualquier caso deben cumplir con la fuerza requerida en el apartado anterior.
- *Refuerzos de cubierta:* IACS y OMI establecen que deben estar preparados para cambios de orientación de la línea de remolque, el punto de aplicación de la fuerza ha de ser tomada en el amarre del remolque a la popa o allá donde la línea cambie de ángulo. El esfuerzo de cizallamiento ha de ser el 60% del límite del material.
- *SWL (Safe Working Load):* IACS y OMI establecen que la SWL para remolcados típicos no ha de sobrepasar el 80% de la que cada uno haya definido correspondientemente en el apartado de “Carga a considerar”. En otras operaciones no podrán superarla. Dicho número ha de estar debidamente marcado en los elementos de amarre, con cordón de soldadura en la mayoría de los casos. Esta carga no contempla más de una vuelta alrededor de una bita o similar.

Y en lo referente a los elementos de fondeo y amarre en este apartado se definen las especificaciones recomendadas para los citados elementos del sistema de amarre y fondeo:

- *Distribución de los elementos:* IACS y OMI establecen que todos los elementos destinados a soportar la carga del remolque han de estar situados sobre refuerzos de la cubierta, a fin de contar con la suficiente integridad estructural. Se aceptan distribuciones alternativas, siempre y cuando esté garantizado que se pueda soportar el esfuerzo sin problemas. La norma ISO no se pronuncia en este aspecto.
- *Carga a considerar:* se establece cual es la SWL que se ha de considerar en el equipo, siempre y cuando el armador no especifique nada al respecto en el contrato. La OMI estipula que la carga de diseño sobre los elementos ha de ser 1.25 veces la carga de rotura de la línea de amarre correspondiente definida por la tabla adjunta al documento, como también debe ser para los refuerzos estructurales de la cubierta. La aplicación de esta fuerza no ha de ser tal como para que la resultante sea el doble.

Por su parte, la IACS establece lo que ya mencionó la OMI, y adicionalmente indica que se tendrá en cuenta la superficie lateral de la posible carga respecto al viento. A la hora de distribuir la tensión de acuerdo a la recomendación 10 de la IACS, se establece una pequeña excepción en la regla, según la cual una línea de amarre que tenga que soportar más de 490 kN de carga podrá ser sustituida por un número mayor de líneas, siempre y cuando el valor combinado de todas ellas sea inferior al establecido por el reglamento de obligado cumplimiento. No debe haber menos de 6 cabos y ninguno debe soportar menos de 490 kN. Esta excepción puede aplicarse de forma inversa. La ISO se refiere con mayor detalle a este aspecto. En primer lugar, establece que el fabricante tiene la responsabilidad de calcular los requerimientos de carga de los elementos que suministra y finalmente trata y establece cada componente con precisión. Como resumen, se expone:

1. El par máximo que el elemento motriz y las maquinillas han de soportar ha de ser 0,9 veces el límite de fluencia del material, o en su defecto el 0.2% de la $R_{p0.2}$ del material.
2. La OCIMF (Oil Companies International Marine Forum) cuenta con la autoridad para establecer sus propias demandas respecto al equipo de amarre de los buques destinados al transporte de crudo.
3. El freno automático, además de cumplir otras características, debe de poder frenar el tambor aun si este se acelerara pero manteniendo una tensión en el cabo de al menos 1,25 veces la carga del tambor. El movimiento de la línea ha de estar controlado en un tiempo no superior al minuto por metro.
4. Dependiendo del material de la línea, se establece el dimensionamiento y carga del tambor. En caso de fibra sintética, el tambor ha de tener como mínimo un diámetro 6 veces superior al de la estacha. En caso de líneas con alto módulo, se hará de acuerdo al fabricante. La carga

del tambor debe estar entre 0.22 y 0.33 veces la carga de rotura de la línea. La carga sostenida un 0.8. Al dar o cobrar la línea debe ser de 0.5. [73] [83] 5. La tensión en la línea en caso de frenado brusco no ha de ser superior al 50% de la carga de rotura.

- *Elementos de amarre:* IACS y OMI establecen que han de ser acordes al estándar ISO 3795 admitido por la administración. En cualquier caso deben cumplir con la fuerza requerida en el apartado anterior. El sentido en el que el equipo debe recoger las estachas ha de ser horario respecto al operario, si armador y astillero no establecen lo contrario de mutuo acuerdo. Este sentido debe estar debida y permanentemente marcado.
- *Refuerzos de cubierta:* IACS y OMI establecen que deben estar preparados para cambios de orientación de la línea, el punto de aplicación de la fuerza ha de ser tomada donde el amarre se haga fijo o allá donde la línea cambie de ángulo. El esfuerzo de cizallamiento ha de ser el 60% del límite del material.
- *SWL (Safe Working Load):* IACS y OMI establecen que la SWL no ha de sobrepasar el 80% de la que cada uno haya definido correspondientemente en el apartado de “Carga a considerar”. En otras operaciones no podrán superarla. Dicho número ha de estar debidamente marcado en los elementos de amarre, con cordón de soldadura en la mayoría de los casos. Esta carga no contempla más de una vuelta alrededor de una bita o similar.
- *Tratamiento anti corrosivo:* Solo la IACS especifica la necesidad de proteger los elementos de amarre del ambiente marino corrosivo.

6.7.2 NORMAS ISO

Como se ha mencionado antes, la norma ISO se centra en estandarizar los elementos y sus medidas, regulando su geometría, dimensionamiento y pruebas a las que son sometidos. En este apartado se resumen las reglas que no se han mencionado con anterioridad.

- *Chigres, maquinillas y cabrestantes:* Además de definir las atendiendo a la posición del elemento motriz, y referir a otras normas ISO directamente relacionadas con la maquinaria de cubierta, se determinan una serie de parámetros de operación. Los requerimientos de carga y los privilegios de la OCIMF ya han sido descritos en el anterior apartado.
- En caso de usar cable trenzado como línea de amarre, el tambor ha de ser, como mínimo, 16 veces la sección del cable.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- Se definen dos capacidades de almacenaje en el tambor, “estándar” y “elevada”. La elevada será el doble que la estándar. La capacidad de almacenamiento, en metros, se da en una tabla inscrita en la norma.

La longitud del tambor ha de ser tal que pueda acomodar la capacidad de almacenamiento especificada en menos de cinco capas, ocho si es de elevada capacidad. Sin embargo, no se deben ejercer tensiones elevadas con más de 4 vueltas.

Su longitud será tal que permita acomodar al menos hasta 5 vueltas. 10 en caso de cable.

Los flancos del tambor, en caso de alojar cable, deben sobresalir vuelta de cable y medio sobre su capacidad máxima. En fibras sintéticas será una vuelta. A la hora de hacer los cálculos, se tomará que la línea se solape perfectamente encima de sí misma, sumando los diámetros.

El embrague debe estar debidamente colocado entre el tambor y el elemento motriz.

- *Equipo auxiliar:* Estarán de acuerdo con todas las normas ISO relacionadas, como la ISO 6482, de cabrones.
- *Equipo motriz:* Los equipos de control y automatismos cumplirán con la IEC 60092 y la IEC 60529 IP56. Los equipos hidráulicos cumplirán la ISO 4413. Los elementos motrices han de ser individuales, a fin de poder controlar velocidad y potencia de cada máquina con precisión. Podrán moverse sin problemas a plena carga durante media hora. Tendrá la debida protección eléctrica en el guardacalor.

Todas las velocidades operativas se establecen en la tabla adjunta a la regla.

Tabla 37

Table 2 — Performance specifications

1 Nominal size	2 Drum load	3 ^a Nominal mooring speed min.	4 ^a Light line speed min.	5 ^a Creep speed max.	6 ^b Design rope diameter	7 ^b Minimum breaking strength of rope	8 Holding load min.	9 ^c Recovery load min.	10 ^c Rendering load max.	11 ^d Minimum diameter of drum and warping-ends	12 Drum capacity	
											normal	high
											see 4.6.3	
	see 5.1	see 5.5.1	see 5.5.2	see 5.5.3	see 4.6.1	see 4.6.1	see 5.2	see 5.3	see 5.4	see 4.6.2/ 4.7.2	m	m
	kN	m/s	m/s	m/s	mm	kN	kN	kN	kN	mm	m	m
5	50	0,25	0,5	0,125	18	204	163	25	100	288	180	360
6,3	63	0,25	0,5	0,125	20	252	200	31,5	126	320	180	360
8	80	0,25	0,5	0,125	22	305	240	40	150	352	200	400
10	100	0,25	0,5	0,125	24	363	290	50	180	384	200	400
12	125	0,2	0,5	0,1	26	426	341	62,5	210	416	200	400
16	160	0,2	0,5	0,1	32	645	516	80	320	512	250	500
20	200	0,16	0,5	0,08	36	817	654	100	408	576	250	500
25	250	0,16	0,5	0,08	40	1 010	808	125	500	640	250	500
32	315	0,13	0,5	0,065	44	1 220	976	157,5	610	704	250	500
40	400	0,13	0,5	0,065	48	1 450	1 160	200	720	768	250	500

^a Only applicable to manually controlled winches.
^b The selection of design rope diameter and minimum breaking strength is based on 6×36WS-IWRC or 6×41WS-IWRC in C.9 of ISO 2408; the selection of other types of ropes shall meet the requirements of 5.2.
^c Only applicable to automatically controlled winches.
^d The values in the table are applicable to steel wire ropes, and the minimum drum diameter of fibre mooring lines is 6 times the rope diameter. The diameter of warping-ends using fibre mooring lines is selected according to ISO 6482.

© ISO 2012 – All rights reserved

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- *Tests:* La presente norma obliga a que los equipos superen una serie de pruebas preestablecidas, normalmente a cuenta del fabricante, al salir de la cadena de montaje. Deben ser capaces de poder funcionar con continuidad sin carga durante media hora, un cuarto en cada sentido. Con carga también.
- Los frenos serán debida y detalladamente probados: Se probará a aplicar carga a un tambor suelto, y este no deberá moverse en dos minutos. Adicionalmente se comprobarán pérdidas de aceite, presión, temperaturas, ruidos y consumos
- *Nomenclatura:* Un código describirá al equipo, en este formato:

“denominación” “norma ISO” “tipo” “especificación” “subtipo” “capacidad”

Así:

Mooring winch ISO 3730 H 80/0,25 RP N

Será un chigre regido por el estándar ISO 3730, de accionamiento hidráulico, con una carga de 80 kN y una velocidad nominal de 0,25 metros por segundo. Tendrá múltiples tambores a la derecha con una capacidad normal.

- *Identificación:* La placa del equipo deberá mostrar todos estos datos, además del nombre del fabricante y la fecha de fabricación.

6.8 EVOLUCIÓN FUTURA

6.8.1 REGLAMENTOS DE LAS SSCC Y NORMAS ISO

La primera y más evidente analogía se da entre la circular de la OMI 1175 y el documento de la IACS. Todo lo que la OMI estipula sobre los elementos estructurales de amarre está recogido palabra por palabra por las sociedades de clasificación en sus requerimientos. No obstante, sí difieren en algo: la IACS añade dos apartados más, uno sobre la corrosión de los elementos y otro sobre las revisiones de los mismos tras la construcción del buque. Son incisos breves pero al fin y al cabo testigos de la diferencia de edad entre las dos regulaciones. Además, la IACS no añade al final la tabla de valores por número de equipo, ausencia que suple refiriéndose en el texto a otra recomendación de la asociación en la que sí se encontraría dicha tabla. En cuanto al método de cálculo del número de equipo, es exactamente idéntico en ambos documentos. Dicho esto, resta comparar los contenidos de estos dos documentos con la norma ISO. La norma ISO es mucho más completa y específica que las otras, de modo que a priori es de suponer que muchos de sus contenidos carecen de equivalente para la OMI y la IACS. Estos son algunos de los apartados que son tratados en exclusiva en la norma ISO 3730: [85]

- Tipos de chigres según la posición y el número de cabirones
- Diseño y requerimientos mecánicos de los cabirones
- Características de los frenos del chigre
- Requisitos del motor eléctrico o hidráulico del chigre

- Velocidades de la línea de amarre
- Test sin carga, test con carga, test de frenos y otras pruebas
- Sistema de designación y marcado de chigres

En lo que sí cabe establecer comparación es en lo referente a las consideraciones sobre cargas de trabajo de los elementos de amarre. La OMI (y la IACS), por tener un carácter más general, se refieren a términos como carga de diseño, carga de rotura o carga de seguridad para cualquier tipo de equipo de amarre, haciendo ciertas precisiones. Por ejemplo, estipula que en los chigres la carga de diseño debe ser 1,25 veces la fuerza de rotura de la línea de amarre, y a su vez la carga de trabajo de seguridad (SWL) no debe exceder el 80% de la de diseño.

Mientras tanto, la norma ISO utiliza otros términos: puesto que es específica de los chigres de amarre, contiene relaciones más ajustadas, como que la carga del tambor no puede superar 0,4 veces el límite elástico superior de la línea de amarra, y a su vez debe situarse entre 0,22 y 0,33 veces la carga de rotura de la estacha. [50]

Al margen de esto, resulta interesante comparar las tablas que incluyen los dos documentos. La tabla de la circular de la OMI relaciona la carga de rotura mínima de las líneas de amarre y de las de remolque con el número de equipo; por su parte, la tabla de la norma ISO especifica muchas propiedades físicas (carga del cabirón, velocidad de izada, diámetro de estacha, varios tipos de cargas y metros de capacidad del tambor, entre otras) para cada diámetro nominal del chigre. Las tablas son bien distintas, pero permiten obtener, combinadas, cierta información. [85]

Por ejemplo, si estudiamos un buque con un número de equipo de 1100, según la tabla de la OMI la carga de rotura mínima de sus estachas es de 250 kN. A su vez, mediante la tabla de la norma ISO podemos relacionar un diámetro nominal de 6,3 con una carga de rotura mínima de 252 kN para la estacha. Combinando estas dos observaciones, podemos determinar que el buque necesitará un chigre con un tamaño nominal de 6,3. No es más que un caso particular de las sinergias que podemos obtener a partir de dos tablas elaboradas por diferentes instituciones.

En cualquier caso, la conclusión es que los documentos son considerablemente distintos, lo suficiente para ser poco contradictorios, y ello permite hacer uso de ellos a la vez. De hecho, da la impresión de que así debe ser: la OMI y la IACS parecen más enfocadas hacia la construcción naval, entendida como una industria de síntesis; las normas ISO, y ésta en particular, deberán ser tenidas más en cuenta por los propios fabricantes de equipos, los equipos que, con arreglo a las recomendaciones de las anteriores organizaciones, deberán ser implementadas en los buques.

Como proceso previo deberemos considerar el cálculo del número de equipo (equipment number) y a través de los valores tabulados por la IACS relativos al diámetro, longitud de cadena y la masa del ancla, determinar el tren de amarre

y fondeo que el chigre/molinete deberá maniobrar. De la consideración de la regulación armonizada y de las hipótesis de partida, podremos determinar las características principales del chigre/molinete de acuerdo con los datos suministrados por el cliente. Siendo en general necesarios unos datos mínimos de partida. [16] [132]

Realizando un estudio de lo especificado por las Sociedades de Clasificación, se puede observar que estas no arrojan datos referentes a la fabricación de los elementos de los equipos de amarre. Para encontrarlos debemos dirigirnos a la norma ISO 3730. Los resultados se pueden observar en la tabla 38.

Tabla 38: Características especificadas en la norma ISO 3730

	ISO 3730
Carretel	Fijados los diámetros
Freno	Definido
Separador/ Estibador	Definido como opcional
Frenado de emergencia	Exigido
Embrague	Exigido
Carga de trabajo	0.33·MBL del cabo
Carga máxima	0.8·MBL del cabo
Carga para largado	0.5·MBL del cabo
Carga para cobrado	0.5·carga trabajo
Velocidad nominal	Definida
Capacidad de frenado del carretel	Definido como 0.8·MBL del cabo
Capacidad del carretel	Definido

Esta tabla confirma que se debe tender hacia una estandarización de los equipos de amarre, así como de los elementos que los conforman. Las Sociedades de Clasificación abordan muchos aspectos referentes al amarre, pero dejan de lado aspectos muy importantes de la fabricación de esos elementos y de sus equipos.

6.8.2 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS RELATIVOS AL PUERTO Y AL BUQUE

Es probable que en un futuro no muy próximo, los puertos empiecen a dotarse de los equipos necesarios para el amarre sin estachas. Hasta ese momento puede que se asienten los sistemas híbridos tipo “shoretension”, que son una situación intermedia.

Aunque en muelles previstos para tráfico de buques portacontenedores, por ejemplo, tarden más en asentarse estos sistemas, de cara a aquellos puertos que alberguen tráfico de buques de pasaje de línea regular, los dispositivos de “amarre por vacío” seguro que se asientan con mayor celeridad. Estos sistemas de amarre por vacío dan una flexibilidad uniforme a las líneas convencionales, manteniendo una tracción horizontal en el casco del buque. El empuje hacia el muelle es absorbido por unos amortiguadores pasivos o cilindros hidráulicos incorporados en el equipo que sujetan las ventosas en raíles verticales mientras permiten un ligero movimiento de proa a popa. Las ventosas sobrecargadas se deslizan a lo largo del casco y unos sensores que monitorizan el sistema avisan al personal del buque y de tierra ante situaciones no deseables.

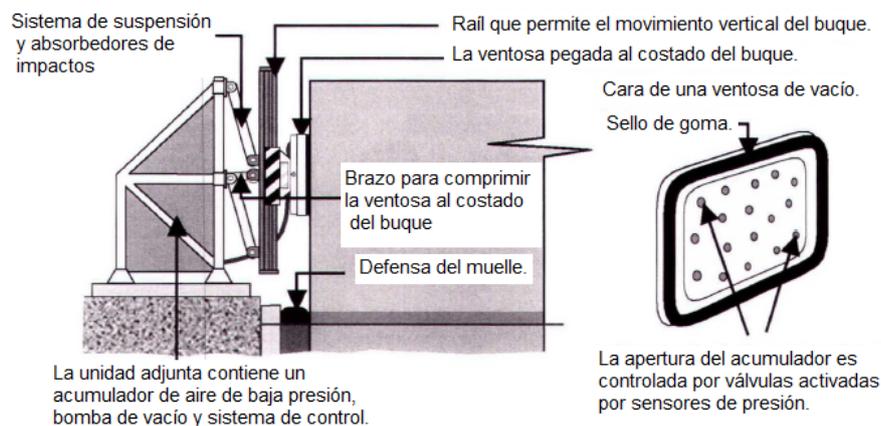


Ilustración 159

Los sensores continuamente miden la carga en las ventosas mientras estas se encuentran sujetas al buque, por lo que el sistema puede ser monitorizado y operado en remoto, por radio, desde un ordenador con unidades de pantallas situado en el puente de mando y en la sala de control del puerto. El modo en el que las ventosas están montadas en la unidad permite normalmente trincar y

afirmar los buques en puertos sujetos a gran oleaje. Sin embargo, el buque con los movimientos de marea y los traslados de carga puede hacer que sus ventosas se deslicen por los raíles verticales. Si las ventosas alcanzan la parte superior o inferior del raíl, el sistema desconecta automáticamente las ventosas, una a una, reposicionándolas arriba o abajo en el casco del buque. El montaje horizontal sobre el que están las ventosas permite un ligero movimiento de proa a popa y puede, en algunas configuraciones, ser usado para ajustar la posición del buque en el muelle. Las ventosas pueden inclinarse ligeramente en el plano vertical para permitir un movimiento de escora, y también pueden rotar en el plano horizontal para ajustarse a regiones del buque que no estén totalmente paralelas al muelle.

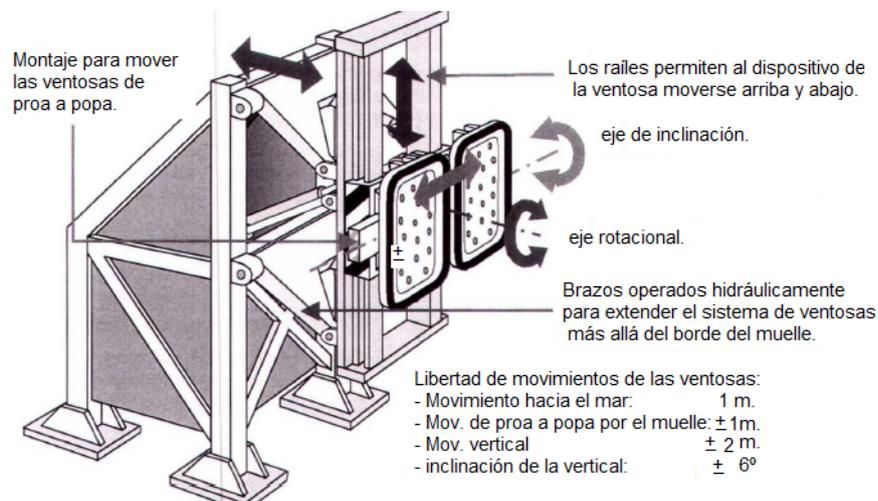


Ilustración 160

Los remolcadores o las hélices de proa y popa de los propios buques, pueden ser usados para empujar el buque hacia el muelle, donde deben estar dispuestas al menos dos unidades separadas a lo largo del muelle. Los sellos de goma de las ventosas son entonces comprimidos contra el costado del buque por medio de cilindros hidráulicos mientras las válvulas entre el acumulador de baja presión y las ventosas se abren para producir la succión que asegure el buque a las ventosas. La aplicación del vacío a las ventosas lleva unos 15 segundos, que es mucho menos tiempo que el necesario para los amarres convencionales.

Los sellos de goma en las ventosas son muy rígidos, por lo que movimientos ligeros del buque respecto a las ventosas provocan grandes fuerzas de las mismas contra el casco. Por consiguiente, cualquier variación en la fuerza del viento sobre el buque se ve compensada por imperceptibles movimientos del buque contra las ventosas. Sin embargo, las ventosas se mueven con el barco mientras este es sometido a fuerzas alternativas producidas por las olas, aunque el movimiento resultante es muy reducido por el efecto amortiguador de los cilindros hidráulicos en el dispositivo articulado, que sujeta las ventosas y está fijado al muelle. El sistema aguantará al buque sin potencia dado que las ventosas que retienen sus sellos al buque no se soltarán sin aviso previo.

Los fabricantes pueden producir unidades que tienen un rango de capacidad de 20 a 80 toneladas.

Las ventosas de vacío deben sujetar partes del buque que:

1. Consistan en planchas casi planas cercanas a la parte paralela al muelle.
2. Estén libres de hielo y no tengan bultos significativos, tales como remaches u ojos de buey con portillos.
3. Sean suficientemente fuertes para soportar la fuerza de succión de las ventosas. Una diferencia de presión de unas 9 t/m² doblaría las planchas a las que estén sujetas las ventosas, así como la compresión de los sellos de goma también doblaría las chapas traseras de las ventosas, con lo que cualquier distorsión debe estar entre los límites elásticos de la plancha del casco.

Sin embargo, la diferencia de presión creada por la succión de las ventosas puede ser reducida si la fuerza de succión pudiera producir deformaciones permanentes en el casco del buque con un escantillado relativamente ligero.

Las ventosas de vacío normalmente están restringidas a una longitud del 25% al 30% de cada lado del centro del buque, especialmente en el caso de los portacontenedores y ferries ro-ro con cascos ligeros. Esto es una ventaja cuando aseguramos un buque ro-ro al muelle donde la proa y la popa se extienden mucho más allá del muelle, pues no es necesario un sistema auxiliar de amarre. Sin embargo, no es adecuado para oponerse a los movimientos de guiñada, pues la presión ejercida no estará tan bien distribuida entre las ventosas como lo estaría si éstas estuviesen más cerca de proa y popa.

El sistema de vacío indudablemente soluciona la mayor parte de los problemas debidos al amarre de buques grandes en pequeños muelles dotándoles de un método muy rápido de asegurar y liberarlo del muelle (en sólo cinco segundos), cuando esté listo para navegar. Las ventosas son aplicadas y largadas por una persona operando el sistema a distancia, lo cual evita el riesgo de accidentes para el personal por golpe al partir amarras o fallos en los accesorios o equipamientos de manejo de las líneas que acompañan a las operaciones de amarre tradicionales con amarras. [45]

Aunque los costes de instalación y mantenimiento serán mucho mayores que los norays y bolardos a los que el sistema reemplaza, los puertos deberían ser capaces de recuperar esto con la obtención de mayor efectividad en el uso de los muelles por medio de una mayor rotación y el menor espacio entre buques a lo largo del muelle que este sistema permite. También habrá menos paradas en el trabajo de carga y descarga debido a movimientos excesivos en puertos expuestos a oleaje. Sin embargo, como cualquier otro sistema de aseguramiento del buque, la capacidad del sistema tiene sus límites y los usuarios deben seguir las recomendaciones e instrucciones de los fabricantes.

6.8.3 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS RELATIVOS A AMARRAS DEL BUQUE

El pasado de las amarras, retrocediendo solo una década, se podría resumir en el siguiente cuadro:

Tabla 39

Tipo de línea	Estructura	Coste	Características	Usos adecuados
Poliéster (“Dacron”, “Terylene”)	3 hilos 8 hilos Doble trenza	Moderado	Buena fuerza, tanto en seco como en mojado. Resistencia a la abrasión. Soporta cargas cíclicas. Elasticidad moderada.	Estachas principales, estachas auxiliares, guías
Poliamida (“Nylon”)	3 hilos 8 hilos Doble trenza	Moderado	Gran fuerza en seco, débil mojado. Gran elasticidad. Sufre fatiga.	Gaza
Polipropileno	3 hilos 8 hilos	Bajo	Ligero, flota. Elasticidad moderada. Poca fuerza. Fácil de derretir. Se alarga.	Guías
Polietileno	3 hilos 8 hilos	Bajo	Ligero. Elasticidad moderada. Poca fuerza. Fácil de derretir. Se alarga.	Guías
Aramida (“Kevlar”, “Twarlon”, “Technora”)	4 hilos 7 hilos 12 hilos Etc.	Elevado	Poca elasticidad. Excelente relación fuerza/peso. Débil a la abrasión.	Guías
UHMWPE (Ultra-high-molecular-weight polyethylene)	Variados	Asequible	Excelente relación fuerza/peso. Resistente a la abrasión	Estachas auxiliares
“Jetkore” (Nylon/Polipropileno/polietileno)	6 hilos	Moderado	Gran fuerza en seco, débil mojado. Gran elasticidad. Resistente a la fatiga. Resistente a la abrasión. Tiende a retorcerse.	Estachas principales
“Atlas Perlon” (Nylon)	6 hilos 8 hilos	Asequible	Elasticidad moderada.	Estachas auxiliares

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

monofilamento/multifilamento)			Resistente a la abrasión. Gran fuerza en seco, débil mojado. Sufre fatiga	
“Deltaflex” Poliéster/Polipropileno	6 hilos 8 hilos	Moderado	Fuerza moderada. Elasticidad moderada.	Estachas principales, estachas auxiliares
“Karat” (Poliéster/Polipropileno)	3 hilos 8 hilos	Moderado	Fuerza moderada. Elasticidad moderada.	Estachas principales, estachas auxiliares
Cable metálico	6 hilos 7 hilos etc	Asequible	Elevado peso. Sufren corrosión. Requiere alto mantenimiento.	Estachas principales

Analizando los materiales aparecidos en las maniobras de amarre en la actualidad, de entre todos ellos, destacan las amarras de polietileno de alto módulo, conocidas comúnmente como HMPE (High Modulus PolyEthylene). Este tipo de material se caracteriza por su gran resistencia al impacto y a los agentes químicos. Es flexible, posee un peso reducido y baja absorción de humedad. Su resistencia es prácticamente el doble que la de la aramida, y diez veces superior a la del acero.

En su contra hay que destacar su alto coste, al que habría que añadir la posible reducción de sus características por daño en su capa protectora. Esta capa actúa de forma que resguarda los cordones interiores. En caso de deformación de la capa, la amarra de alto módulo ya no tendría la vida útil para la que estaba prevista.



Ilustración 161: Amarra de alto módulo (Fuente: www.alibaba.com)

Como diferencias principales entre las amarras de polietileno y las de aramida se podría destacar:

- Los cabos de alto módulo flotan, mientras que las amarras de aramida no lo hacen.
- Los cabos de alto módulo poseen buena resistencia a la abrasión, mientras que la de la aramida es buena, pero no tanto.
- Las fibras de alto módulo poseen un coeficiente de fricción bajo.

Para finalizar este apartado destacar que sería razonable pensar que las actuales investigaciones en materiales compuestos, y el encarecimiento del petróleo usado como materia prima para la fabricación de polímeros pueda dar como resultado el descubrimiento de nuevos materiales para las líneas de amarre.

Entre los campos más prometedores se encuentra la composición de óxido de grafeno, nanotubos de Carbono y polímeros. Otro campo a investigar podría ser el relacionado con la estructura de la seda de araña y sus impresionantes propiedades mecánicas. Si se tuviera éxito podrían descubrirse nuevas estructuras de alto rendimiento junto con materiales orgánicos de bajo coste.

Sin embargo, dadas las inversiones en tiempo y dinero que estos proyectos requieren, es posible que en las siguientes décadas no suceda ningún cambio destacable.

6.8.4 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS RELATIVOS AL EQUIPO DE AMARRE

A diferencia de otros elementos del buque, no existe una convención o estándar mundialmente aceptado que defina el dimensionamiento de elementos tales como bitas, roletes y guías. En la mayor parte de las ocasiones, estos se diseñan teniendo en cuenta la carga máxima que pueden soportar las estachas, o la máxima tensión que puede darse en caso de tiempo adverso. Como consecuencia, puede darse el caso de que el equipo resulte dañado a largo plazo, perjudicando la estructura del buque pero evitando la mucho más leve situación de la rotura de un cabo. [118]

Diversas regiones del mundo tienen sus propios estándares de diseño. Los fabricantes usan sus propias medidas más o menos aceptadas por el mercado, pero en general no se da consenso sobre el factor de seguridad y el sobredimensionamiento.

En este apartado se expondrá un resumen de las reglas y factores existentes para los diversos elementos. Los estándares referidos son los de aplicación europea. [118]

El factor de seguridad se contempla como:

- $F_s = \frac{\text{Limite de fluencia nominal del material}}{\text{Carga total combinada (tension, compresion...)}}$ en caso de esfuerzos normales (σ)
- $F_s = \frac{\text{Limite de fluencia nominal del material}}{\sqrt{3} \cdot \tau}$ en caso de esfuerzos cortantes (τ)
- $F_s = \frac{\text{Limite de fluencia nominal del material}}{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau^2}}$ en caso de ambos esfuerzos.

El factor Geométrico se contempla como:

- $GF = 2\sin(\theta/2)$, donde θ es el ángulo que debe hacer el cabo.
- “MBL” abrevia “Minimum Breaking Load”, que es la menor carga posible que haría fallar al cabo, y que en general no debería alcanzarse. A diferencia de los estándares americanos, las normas ISO establecen la MBL para el material de la estacha sin haber sido trenzado. La carga con la que se proyecta el diseño (DBL, design basis load) es la MBL multiplicada por el factor de seguridad. El esfuerzo que puede alcanzar el elemento físicamente a causa de esta carga nunca debe ser superior al 85% del límite de fluencia nominal del material.

Adicionalmente se recomienda marcar el valor de la SWL del elemento en el propio elemento de forma adecuada (Con un cordón de soldadura pintado en colores claros) para referencia rápida del personal. Sin embargo, el SWL no proporciona información acerca del factor de seguridad o del factor geométrico. Tampoco lo hace de la carga a la que ha sido probado. Dicha información debe ser debidamente documentada y estar accesible en el buque. Por defecto la carga a la que se someten los elementos en las pruebas y con la que se marcan es la DBL (Design Basis Load), con unas pocas excepciones. En estos casos normalmente es sometido a fuerza hasta la destrucción del elemento.

Se prevé que la tendencia futura sea el utilizar el factor geométrico en vez del factor de seguridad.

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

Tabla 40

Elemento	Estándar existente	Factor de seguridad/geométrico	SWL (Standard Working Load)	Posición de la carga	Comentarios
Bitas	ISO 3913 BS MA 12	2/2	MBL	1.2D por encima de la base, D= diámetro de una bita	Si se hace firme haciendo un 8, la carga será considerada como doble. Mayor si esta engrasada.
Bita cruciforme	ISO 3913	2/1	2x MBL	Altura del traveso+0.5 D de la estacha	Pueden tener dos traveses
Guía Panamá	ISO 13729	Max. 2	MBL	90° fuera de la borda 30° en cubierta	La carga que soporta varia ostensiblemente con el ángulo de las estachas. Varias estachas pueden pasar a la vez.
Guía rolete	DIN 81906 BS MA 22	2	MBL(antes 0.55MBL)	Hasta 180°	La carga en el elemento puede llegar a ser el doble de la que soporta la estacha
Guía San Lorenzo	ISO 13733(con rolete superior) ISO 13742 (sin rolete superior)	2	MBL(antes 0.55MBL)	Fuera de la borda (Horizontal $\pm 90^\circ$) (Vertical: arriba $\pm 30^\circ$:abajo $\pm 90^\circ$) En cubierta (Horizontal $\pm 30^\circ$ Vertical $\pm 15^\circ$)	La MBL corresponde a la línea de amarre. Se considerara la posición más perjudicial
Guía para remolque	SOLAS	2	Carga del remolque	Fuera de la borda (Horizontal $\pm 90^\circ$) (Vertical: arriba 0° abajo 30°)	Pueden requerirse 2 a proa para remolques de más de 150000 DMT Para remolques inferiores a 50000 DMT por popa pueden ser de tamaño reducido
Chigres	ISO 3730	N/A(antes 1.11)	MBL para todas sus partes	Segunda o tercera si es de tambor simple. Primera en caso contrario	Las diferentes partes de la maquinilla pueden ser sometidas a diferentes cargas durante los test..

7 CONCLUSIONES

RESPECTO A LAS INSTALACIONES PORTUARIAS:

- Las estadías, que representan el intervalo de tiempo que los buques se encuentran amarrados en los muelles de los puertos, van a estar muy influenciadas por el número de escalas que los buques realicen a lo largo de su existencia operativa. Obviamente, a igualdad de tiempo navegado, los barcos que lleven a cabo menor número de viajes al año, estarán más tiempo en la mar navegando, y su tanto por ciento de permanencia en puerto se verá reducido. En cualquier caso queda patente, que durante el tiempo que estén atracados en puerto - tiempo que ha sido analizado en esta tesis -, utilizarán sus equipos y sistemas de amarre.
- El efecto de la resonancia, tan perjudicial dentro de los puertos, suele prolongarse en el tiempo, durante minutos. Si tenemos en cuenta que el período de las olas producidas por el viento, apenas dura unos segundos, debemos llegar a la conclusión de que el viento no es el principal culpable de que se produzca este efecto.
- El pretender mejorar las instalaciones portuarias mediante la disminución de la agitación de las aguas dentro de las dársenas, podría ser una solución costosa y complicada. Sería más recomendable el preocuparse por la definición y diseño de los equipos de amarre, de cara a reducir movimientos indeseados de los buques en los puertos.
- Las frecuencias propias de los puertos dependen de las configuraciones de los mismos. Si estas frecuencias llegan a coincidir por las provocadas por fuerzas exteriores de los muelles, se producirá un efecto indeseable que provocará que aumenten las oscilaciones de las aguas interiores. Este efecto no cesará hasta que se iguale la energía creada por las oscilaciones - por fricción con el fondo - y la energía de las fuerzas exteriores.
- A pesar de que las instalaciones de los muelles no son objeto principal de estudio en esta tesis, sí se deben tener en cuenta desde dos puntos de vista. Por un lado, y el más importante, porque deben estar adaptadas para poder conectar las amarras de los buques a los muelles – generalmente mediante norays -, y por otro lado, porque a veces los buques pueden necesitar de los muelles energía u otro medio de auxilio, para poder poner en funcionamiento su equipo de amarre - bien por avería o bien por poseer un equipo de amarre que exige un auxilio extra desde el muelle -.

RESPECTO A LA DISPOSICIÓN DE LAS AMARRAS:

- Para que la disposición de las estachas y defensas se pueda considerar un sistema eficaz, éste ha de ser capaz de absorber aquellas cargas que las fuerzas externas ejercen sobre los buques, y además debe mantener la ubicación de los mismos dentro de un margen establecido con anterioridad.
- Los sistemas de carga y descarga de cada buque serán los que fijarán los límites de los movimientos del buque en el muelle. Estos movimientos deberán encontrarse dentro de unos límites previamente conocidos.
- Se debe aspirar a conseguir una distribución homogénea de las fuerzas aplicadas sobre todo el sistema de amarras y defensas del buque con el propósito de reducir sobrecargas no deseadas o evitar que rompan las estachas.
- De cara a obtener el máximo rendimiento de las estachas, se debe utilizar, dentro de lo posible, el mismo material en todas las líneas de amarre, siendo deseable conocer el comportamiento de éste (rigidez, deformaciones, vida útil, facilidad de manejo)
- La longitud de las líneas de amarre debe seleccionarse teniendo en cuenta su eficacia. Para ello debe tenerse presente que las amarras largas responden mejor ante fenómenos dinámicos, mientras que las cortas proporcionan mejor comportamiento desde el punto de vista estático.
- Para aumentar la eficacia de las estachas, éstas se colocarán alineadas con el buque sobre el que trabajan. Ello lleva intrínseco el cálculo meticuloso de los puntos de salida del buque de las amarras y de los ángulos que formarán las estachas con la horizontal y la vertical. Estos últimos serán los más problemáticos.
- Se deben conocer las fuerzas actuantes (viento, corriente, marea, olas, paso de otros buques, carga, etc.) y evaluar su orden de magnitud y su distribución en el tiempo para disponer un sistema de amarras efectivo.
- De cara a obtener un reparto homogéneo de las cargas entre todas las amarras involucradas en el amarre, y de paso poder reducir efectos perjudiciales, se debe obtener una distribución simétrica del conjunto de las líneas respecto al centro del buque, a los norays y las defensas.
- Debe tenerse en cuenta el principio general de que si dos líneas de diferente coeficiente elástico son afirmadas a un buque en el mismo punto, la más rígida siempre asumirá una mayor proporción de la carga, incluso aunque la orientación sea la misma. Esto se debe a que ambas líneas deben estirarse en la misma proporción y, haciendo eso, la más rígida siempre asumirá más porcentaje de carga. La diferencia entre las cargas

dependerá de la diferencia entre las elasticidades, y puede llegar a ser muy grande.

- Las defensas son muy importantes en el sistema de amarre, por lo que se deben seleccionar teniendo en cuenta su influencia sobre los buques. Esto implica instalar defensas de rigidez similar a la de las amarras de los buques a los que tienen que proteger, y que al mismo tiempo tengan un buen comportamiento respecto al primer impacto de los buques.

RESPECTO AL MANTENIMIENTO Y MATERIAL UTILIZADO EN LAS AMARRAS:

- El mantenimiento de las líneas de amarre es muy importante. Se deben inspeccionar con frecuencia para mantener su eficacia a lo largo del tiempo. Para ello se debe prestar especial atención a los cambios de marea, y alteraciones del viento y de la carga.
- Se deben proporcionar a las amarras y equipos de amarre los cuidados de mantenimiento necesarios para conservarlos en buen estado, reponiendo las estachas y cables con la periodicidad necesaria o cuando su deterioro lo exija.
- Si se analizan los materiales aparecidos en las maniobras de amarre en la actualidad, de entre todos ellos, destacan las amarras de polietileno de alto módulo. Este tipo de material se caracteriza por su gran resistencia al impacto y a los agentes químicos, además de por poseer buena flexibilidad, peso reducido y baja absorción de humedad. Su resistencia es prácticamente el doble que la de la aramida, y superior a la del acero. En su contra hay que destacar, como no podía ser de otra forma, su alto coste, al que habría que añadir la posible reducción de sus características por daño en su capa protectora. No obstante, a día de hoy, los cabos de alto módulo ya se perfilan como los sustitutos de los cables de acero.
- Otra ventaja a destacar de las fibras de alto módulo reside en sus dimensiones. Esta característica podría repercutir en el diseño de los chigres.
- Antes de diseñar el chigre de amarre será necesario seleccionar el tipo de material que se usará para las estachas, ya que como se ha comentado, este influirá en el tamaño del tambor de la maquinilla. Analizando ahora sólo la posible elección de fibra sintética o cable de acero, habrá que tener en cuenta el porte del buque antes de realizar la elección, ya que hay buques pequeños que se comportan mejor con amarras de fibra, mientras que el uso de cable de acero suele recomendarse para buques grandes, o aquellos que exijan mucha exactitud en la posición del atraque.

RESPECTO A LOS EQUIPOS DE AMARRE:

- A pesar del papel importante que representa en un buque su maquinaria de propulsión, esta se paraliza cuando el buque queda atracado. En ese instante el motor propulsor queda en un segundo plano, y los equipos de amarre entran en juego, y en concreto las maquinillas o chigres. Estos chigres serán los encargados de alojar las amarras durante las operaciones de amarre, y en algunos casos también después de dichas operaciones, una vez que el buque ya se encuentre amarrado al muelle.
- Existen puertos, como el de Ferrol, muy sensibles a los cambios de marea. Este tipo de puertos representan un inconveniente para los buques atracados en ellos, ya que están obligados a un permanente control de la tensión de sus estachas. En este tipo de casos cobran un papel relevante los chigres de tensión constante, ya que pueden mantener la tensión de las amarras en su valor adecuado, virando o lascando de las mismas, según la exigencia de la marea.
- Existen situaciones de atraques de buques en las que se producen desiguales repartos de las tensiones y cargas entre las estachas que configuran el amarre. Y es precisamente en esos casos, cuando juega un papel de relevancia el freno del chigre. Sin embargo este elemento del equipo ha evolucionado muy poco, debido a que nunca se le ha dado la consideración que merece.
- El oficial encargado de la maniobra de amarre dispone de una serie de equipos – chigres, bitas, guías, gateras, etc. – que complementados con los elementos existentes en los muelles - norays, defensas, etc. – forman el subsistema de amarre. Para que la finalidad del amarre se lleve a cabo de forma satisfactoria será necesario que estos dos grupos de elementos – los del buque y los del muelle – estén ubicados de forma efectiva. De nada serviría tener una disposición que permitiera encapillar una serie de estachas en la misma bita – por ejemplo – y que la citada bita no estuviera diseñada para recibir esa carga de trabajo.
- Para definir y seleccionar el chigre necesario para una determinada disposición de amarre, habrá que conocer la capacidad de almacenaje de amarra necesaria en el carretel y la potencia que debe ejercer. Tradicionales fórmulas empíricas ayudan en el cálculo de estos parámetros.

RESPECTO A LOS SISTEMAS NOVEDOSOS DE AMARRE:

- En los últimos años han surgido nuevos y revolucionarios sistemas de amarre en los buques que han roto con la tradición histórica, al prescindir - alguno de ellos - de las tradicionales amarras. Estos nuevos sistemas presentan las siguientes ventajas:

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

- 1 Reducen el número de accidentes acaecidos en las maniobras por ruptura de las estachas, lo que conlleva intrínsecamente una reducción de los accidentes del personal involucrado en las citadas maniobras, lo que a su vez conlleva a un ahorro en coste - reducción del seguro, de gastos médicos, etc. -
 - 2 Incrementan la velocidad de las operaciones de atraque y desatraque, lo que redundará en ahorro de tiempos en las operaciones de carga y descarga.
 - 3 Mejoran el gobierno del buque mientras se realiza el atraque.
 - 4 Son muy versátiles por lo que pueden instalarse en la mayoría de los muelles - a veces con una pequeña obra de modificación -.
 - 5 Poseen sistemas automáticos de control de las tensiones existentes en las estachas, con funciones de alarma y aviso.
 - 6 Y lo que es más importante, algunos de estos sistemas ya empiezan a estar certificados por las Sociedades de Clasificación.
- En concreto los sistemas de amarre por vacío, que se caracterizan por el uso de una ventosas que sustituyen a las tradicionales amarras, aportan las siguientes ventajas:
 1. Minimizan el riesgo de accidente de las dotaciones de los buques, por manipulación de las estachas, ya que no se usan en este tipo de disposición de amarre.
 2. Controlan permanentemente las cargas ejercidas sobre las amarras de forma automática, incluso ante la aparición de caídas del sistema por falta de energía. Se puede decir que son sistemas diseñados a prueba de fallos.
 3. Aprovechan de forma muy satisfactoria el uso del muelle debido a que el buque ocupa menos metros lineales de muelle al no necesitarse utilizar el espacio que tradicionalmente ocupaban los largos de proa y popa, y gracias a que la cabezas de los barcos - proa y popa - podrían sobresalir de los muelles, si estos fueran pequeños para el amarre tradicional. En cualquier caso la conclusión de este punto radica en que siempre se desembocará en un ahorro en el uso de longitud de muelle necesario para el atraque.
 4. La operación del amarrado - o más bien trincado en este caso -, se realizará de forma muy rápida, incluso en menos de un minuto. El desamarre se realizará aún de forma más rápida, lo que conllevará reducciones de los tiempos de maniobra y evitará retrasos en el abandono de los muelles que puedan afectar a los siguientes buques que tengan que utilizarlos. Todo se resume en una reducción del tiempo de estadía.
 5. Reducción del tiempo necesario de uso de remolcadores y prácticos.
 6. Desde el punto de vista del medio ambiente, se obtiene un amarre rápido, lo que implica menor tiempo de funcionamiento de la propulsión del buque y de los remolcadores, lo que significa menores emisiones contaminantes en los puertos.

7. Estos sistemas de amarre por vacío exigen poca demanda de energía eléctrica y aparte ejercen poco consumo. Todo esto redundará en una mejora medio ambiental.
 8. El ahorro general del tiempo invertido en la maniobra, reducirá la velocidad exigible al buque, lo que se traducirá en una reducción del consumo de combustible, y por extensión, en una mejora medio ambiental.
- Entre las ventajas que se podrían obtener con la modificación propuesta en esta tesis, para el puerto de Ferrol, se podrían destacar:
 - 1 Menor necesidad de infraestructura portuaria de muelles, al poder ser ubicados más barcos en el mismo espacio, lo que provocará un ahorro por la no necesidad de construcción de más muelles en el futuro cercano.
 - 2 Las características de los equipos aseguran el poder mantener el funcionamiento del sistema con olas de hasta un metro de altura.
 - 3 Se mejora la seguridad del personal.
 - 4 Se ahorra en adquisición de estachas de amarre y en mantenimiento de chigres y cabrestantes, ya que estos no se utilizan, y los nuevos sistemas exigen menos mantenimiento.
 - 5 Reducción del intervalo de tiempo invertido durante las maniobras de atraque y desatraque.
 - Se podría considerar que los sistemas tradicionales de amarre, mediante el uso de estachas, se están quedando desfasados con el nuevo enfoque que recibe la industria naval. Y es probable que en un futuro no muy próximo, los puertos empiecen a dotarse de los equipos necesarios para el amarre por vacío mediante el uso de ventosas. Hasta ese momento puede que se asienten los sistemas híbridos tipo “shoretension”, que son una situación intermedia, en lo referente al coste. No obstante, en muelles previstos para tráfico de buques portacontenedores, por ejemplo, que alberguen también tráfico de buques de pasaje de línea regular, los dispositivos de amarre por vacío probablemente se asienten con mayor celeridad.

RESPECTO A LAS NORMAS Y LOS REGLAMENTOS:

- El análisis de los resultados del cálculo del equipo de amarre, teniendo en cuenta los parámetros de cinco Sociedades de Clasificación, arroja la conclusión de que todas aportan valores similares, con la excepción de Bureau Veritas, que es menos restrictiva. Al hacer la misma comparativa en un buque de guerra de porte similar, y esta vez teniendo en cuenta los reglamentos para buques de guerra de esas mismas Sociedades de Clasificación, se comprueba cómo es ahora la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas la más demandante en lo referente a número de estachas y a carga mínima de rotura exigidas.

- La Organización Marítima Internacional y las Sociedades de Clasificación fijan su atención principal en el diseño de los accesorios del sistema de amarre, pero se olvidan de los parámetros, ya mencionados en estas conclusiones, que definen al chigre, centrándose sólo en la tracción y en la capacidad de frenado, pero sin definir su diseño.
- Algunas normas ISO definen la fabricación de elementos de los chigres, y de todas ellas debe destacarse la norma ISO 3730, cuyo contenido se ha comparado con los reglamentos de las Sociedades de Clasificación. Esta norma es la única que trata aspectos tales como la velocidad y la capacidad del carretel. Por todos estos motivos las normas ISO deberían utilizarse para proponer una estandarización de los equipos de amarre.

RESPECTO A LOS ACCIDENTES:

- La maniobra de amarre es una operación muy peligrosa, que desgraciadamente a menudo acarrea accidentes, pudiendo incluso representar la pérdida de vidas humanas. En esta tesis se enumeran una serie de consejos encaminados a evitar las consecuencias fatídicas de los fallos, en caso de producirse. Por regla general, si los fallos del sistema de amarre conllevan la ruptura de una amarra, la fuerza y velocidad adquirida por la estacha fracturada convertirá al buque en una zona de peligro.
- Las maniobras de amarre aportan un peligro adicional al del propio sistema en sí. Este problema radica en que para realizar las maniobras se necesitan dos grupos de marineros. Por un lado tenemos a los amarradores del muelle y por otro lado a la dotación del buque. Estos dos grupos de personas, que la mayoría de las veces ni se conocen - incluso a veces tampoco hablan el mismo idioma , representan un factor de peligro para el buque y su tripulación.
- El personal de la tripulación asistente a las maniobras de amarre debe ser el estrictamente necesario, y designado para esa función, evitando situaciones que habitualmente se producen, de personal adicional observando la maniobra a escasos metros de los equipos. Toda la dotación del buque debe ser consciente de este precepto.
- Nunca debe existir sólo un tripulante en cada puesto durante las operaciones de amarre. Incluso pensando en los sistemas automáticos y novedosos de amarre sería recomendable que hubiera dos miembros de la dotación, por si surgiera algún problema. Y por supuesto, nunca debe existir un solo marinero manejando el cuadro de funcionamiento del chigre y la salida o entrada de la amarra al mismo tiempo.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agency, M. a. (2004). *Emergency Towing Arrangements for Tankers*. TSO MCA.
- [2] Álvarez, I. (2005). *Hidrografía e hidrodinámica de los estuarios gallegos bajo la influencia de forzamientos externos*. Universidad de Vigo.
- [3] American Bureau of Shipping. (2014). *Rules for Clasification of Ships*. ABS.
- [4] B.S.R.A. (1971). Research Investigation for the improvement of ship mooring methods. En *Report 179*.
- [5] B.S.R.A. (1971). Research Investigation for the improvement of ship mooring methods. En *Report 256*.
- [6] B.S.R.A. (1971). Research Investigation for the improvement of ship mooring methods. En *Report 304*.
- [7] B.S.R.A. (1971). Research Investigation for the improvement of ship mooring methods. En *Report 386*.
- [8] Barrass, C. (2004). *Ship Design and Performance for Master and Mates*. Elsevier.
- [9] Baur, T., Weiler, O., & Van Vossen, B. (2006). *Current Forces on Moored Ships affected by Land Reclamation for new JadeWeserPort*. Taiwam.
- [10] Bridon. (2011). *Fibre Rope Catalogue*. Bridon.
- [11] British Admiralty. (s.f.). *Manual of Seamanship*. HMSO.
- [12] British Standards 6349-4. (1994). *Maritime Structures. Code of practice for the design of fendering and mooring systems*. BS.
- [13] Bureau Veritas. (2011). *Rules for the Classification of Naval Ships*.
- [14] Bureau Veritas. (2012). *Rules for Clasification of Ships*. BV.
- [15] Buxton IL, Daggitt, King (1978). *Cargo access equipment for merchant ships*. London: Spon Limited.
- [16] Carral, J., Carral, L., Villa Caro, R., & Fraguera, J. (2015). Anchor windlasses, a design proposal to harmonise regulations. *International Journal of Maritime Engineering, Processing*. ISSN: 1479-8751
- [17] Carral, L. (1999). Normas prácticas para el diseño de chigres y cabrestantes. *Ingeniería Naval*, 100-108.
- [18] Cavotec Iberica S.L. (30 de 11 de 2014). *Cavotec Iberica S.L.* Recuperado el 30 de 11 de 2014, de Cavotec Iberica S.L. : http://www.cavotec.com/es/puertos-y-terminales/sistemas-de-amarre-automatizado_36/
- [19] Centro de Estudios de Obras Públicas. (1990). *Análisis crítico de los sistemas de atraque de buques*. Madrid: CEDEX (Ministerio de Obras Públicas).
- [20] Centro de Estudios y Experimentación de Obras P.(1988). *Ensayos de resonancia en dársenas rectangulares*. CEDEX.
- [21] Chamber of Shipping of the United Kingdom. (1971). *Research Investigation for the ship improvement of Ship Mooring Methods*. Northumberland: BSRA.
- [22] Clark, I. (2005). *Ship Dynamics for Mariners*. The Nautical Institute.
- [23] Clark, I. (2009). *Mooring and Anchoring Ships Vol 1*. London: Nautical Institute. ISBN: 9781906915934
- [24] Clarke, C., Dand, I., Glover, B., & Murdoch, E. (2004). *Master's Guide to Berthing*. P&I Club.

- [25] Comas, E. (1999). *Equipos y Servicios - Volumen II - Fondeo, Amarre y Remolque*. Madrid: ETSIN.
- [26] Da Costa González, D. (2006). *Estudio paramétrico de las fuerzas en sistemas de amarre para buques amarrados en puerto*. Oporto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [27] DDS-582-1 Navy Naval. (1987). *Calculation for mooring system*. Navy.
- [28] Det Norske Veritas. (2009). *Offshore Mooring Steel Wire Ropes*. DNV-OS-E304. DNV.
- [29] Det Norske Veritas. (2013). *Rules for Clasification of Ships*. DNV.
- [30] Faltinsen, O. (1990). *Sea Loads on Ships & Offshore Structures*. Cambridge University Press.
- [31] Flory, J. (1998). *Good and Not So Good Mooring Practices*. CSLC.
- [32] Flory, J. (2001). *A method for estimating Passing Ship Forces*. ASCE.
- [33] Flory, J. (2010). *Quay Wall Influence on Passing Vessel Induced Mooring Loads*. ASCE.
- [34] Flory, J., Banfield, S., & Ractliff, A. (2012). *Computer Mooring Load Analysis to Improve Port Operations and Safety*. Tension Technology International.
- [35] Foxter, G., McKenna, H., & Monaco, A. (1997). *Fibre Rope Technical Information and Applicatio Manual*. The Cordage Institute.
- [36] Galagher, S. (2004). *The Mooring Series. Edition 2*. Videotel.
- [37] GARD AS. (2008). *Moored vessels breaking out from their berths*. GARD.
- [38] Gaythwaite, J. (2004). *Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring and Repair of Vessels*.
- [39] Gaythwaite, J. (2013). *Mooring of Ships to Piers and Wharves*. ASCE/P&H.
- [40] Germanischer Lloyd. (2011). *Rules for Classification and Construction Naval Ship Technology*.
- [41] Germanischer Lloyds. (2012). *Rules for Clasification of Ships*. GL.
- [42] Gómez Pina. (1985). *Proyecto y construcción de obras marítimas*. CEDEX.
- [43] Hendersen, H. (2003). *Tug use in port*. The Nautical Institute.
- [44] Institute, N. A. (1965). *Analytical treatment of problems in the berthing and mooring of ships*. Lisboa.
- [45] International Association of Classific Societies. (s.f.). *Shipboard Fittings and Associated Hull Structures Associated with Towing and Mooring on Conventional Vessels*.
- [46] International Association of Classification S. (2007). *Requirements concerning mooring, anchoring and towing*. IACS.
- [47] Iribarren, J. (1988). *Metodología para los ensayos de agitación y barcos atracados*. *Ingeniería Civil*(66).
- [48] Iribarren, R. (Febrero de 1958). *Onda de resaca en los puertos. Ensayos de resonancia en modelos reducidos*. *Revista de Obras Públicas*.
- [49] ISO 17537. (2002). *Ships and marine technology. High-pressure floating pneumatic rubber fenders*. Geneve: ISO.
- [50] ISO 3730. (2012). *Shipbuilding – Mooring winches*.
- [51] ISO 3913. (1977). *Shipbuilding. Welded steel bollards*. Geneve: ISO.
- [52] Joint Industry Project. (2006). *Develop Effective Mooring for Tanker and Gas Carrier Terminals Exposed to Waves*. JIP.
- [53] Kat, J., & Wichers, J. (1991). *Behaviour of a Moored Ship in Unsteady Current*. SNAME.

- [54] Lloyd's Register of Shipping. (2010). *Rules for the Classification of Ships and Naval Ships*.
- [55] Losada I., Philips LF. (2000). *Modelos Matemáticos y Numéricos para el Estudio de la Agitación Portuaria*. EIM.
- [56] Marine Accident Investigation Branch, S. (2008). *Report on the investigation of two accidents during berthing and unberthing of Logos II at St Helier, Jersey, June 2007*. MAIB.
- [57] Maritime and Coastguard Agency. (2004). *Code of Safe Working Practices for Merchant Seamen*. Norwich: TSO. doi:ISBN: 0115526129
- [58] Maritime and Coastguard Agency. (2004). *Mooring, Towing and Hauling Equipment on all Vessels. Safe Installation and Safe Operation*. TSO MCA.
- [59] McDowall, C. (1990). *Anchoring Large Vessels*. The Nautical Institute Monographs.
- [60] Moyano, J. (2002). *Fiabilidad y Riesgo en Sistemas de Atraque, Amarre y Defensa*. Granada: Universidad de Granada.
- [61] Naval Facilities Engineering Command. (1986). *Fixed Moorings*. Navy Department.
- [62] Naval Ship Code. (2011). *ANEP-77*. Naval Ship.
- [63] Navy Department. (s.f.). *Design Procedures for Anchor and Windlasses*. NATO.
- [64] Nueva Montaña Quijano S.A. (1980). *Cables de acero*. Nueva Montaña Quijano S.A.
- [65] Oil Companies International Marine Forum. (1978). *Guidelines and Recommendations for the Safe Mooring of Large Ships at Piers and Sea Islands*. London: OCIMF. ISBN: 0900886 33 1
- [66] Oil Companies International Marine Forum. (1981). *Report of Studies on Ship Drift and Towage*. OCIMF.
- [67] Oil Companies International Marine Forum. (1982). *Anchoring Systems and Procedures for Large Tankers*. OCIMF.
- [68] Oil Companies International Marine Forum. (1982). *Hawser Test Report*. OCIMF.
- [69] Oil Companies International Marine Forum. (1994). *Prediction of Wind and Current Loads on VLCC's*. OCIMF.
- [70] Oil Companies International Marine Forum. (1995). *Prediction of Wind Loads on Large Liquefied Gas Carriers*. OCIMF.
- [71] Oil Companies International Marine Forum. (1995). *Ship to Ship transfer Guide*. OCIMF.
- [72] Oil Companies International Marine Forum. (1995). *Single Point Mooring Maintenance and Operations Guide*. OCIMF.
- [73] Oil Companies International Marine Forum. (2002). *Guidelines on the use of High-Modulus Synthetic Fibre Ropes as mooring lines on Large Tankers*. OCIMF.
- [74] Oil Companies International Marine Forum. (2002). *Recommendations for ship's fittings for use with tugs*. OCIMF.
- [75] Oil Companies International Marine Forum. (2004). *Guidelines for the Purchasing and Testing of SPM Hawsers*. OCIMF.
- [76] Oil Companies International Marine Forum. (2005). *Effective Mooring*. England: OCIMF. ISBN: 1856093050

- [77] Oil Companies International Marine Forum. (2006). *Internatinal Safety Guide for Oil Tankers and Terminals*. OCIMF.
- [78] Oil Companies International Marine Forum. (2007). *Recommendations for Equipment Employed in the Bow Moorings of Conventional Tankers at Single Point Moorings*. OCIMF.
- [79] Oil Companies International Marine Forum. (2008). *Jetty Maintenance and Inspection Guide*. OCIMF.
- [80] Oil Companies International Marine Forum. (2008). *Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition*. Great Britain: OCIMF.
- [81] Oil Companies International Marine Forum. (2009). *Guidelines for the Design, Operation and Maintenance of Multi Buoy Moorings*. OCIMF.
- [82] Oil Companies International Marine Forum. (2010). *Tanker-Shore Safety Check-List International Safety Guide Appendix I for Inland Navigation Tank-barges and Terminals*. OCIMF.
- [83] Oil Companies International Marine Forum. (2014). *Guide to Purchasing High Modulus Synthetic Fibre Mooring Lines*. OCIMF.
- [84] Oil Companies International Marine Forum. (s.f.). *Recommendations for Oil Tankers Manifolds and Associated Equipment*. OCIMF.
- [85] OMI 1175. (2005). *Guidance on shipboard towing and mooring equipment*. OMI.
- [86] Ottesen-Hansen. (1976). *Current induced oscillations of moored ships*. Technological University Denmark.
- [87] Paffett, J. (1990). *Ships and Water*. The Nautical Institute.
- [88] Palo, P. (1983). *Steady Wind & Current Induced Loads on Moored Vessels*. OTC.
- [89] Permanent International Association of Navigation . (s.f.). *Big Tankers and their Reception*. PIANC.
- [90] Permanent International Association of Navigation. (1995). *Criteria for Movements of Moored Ships in Harbours*. Bruselas: PIANC. ISBN: 287223070X
- [91] Port of Hamburg. (2006). *Ship design considerations for stevedore safety*. Port of Hamburg.
- [92] Port of London Authority. (2010). *Code of Practice for the Safe Mooring of Vessels on the Thames*. London.
- [93] Proes Consultores. (2010). *Estudio dinámico amarre del buque Neva River en muelle 14 de Ferrol*. PROES.
- [94] Robinson, A. (1990). *Harbour Fendering*. The Nautical Institute Monographs.
- [95] Routledge, F. (1990). *Mono Mooring for Mariners*. The Nautical Institute Monographs.
- [96] Rowe, R. (2004). *The Shiphandler's Guide*. The Nautical Institute.
- [97] Russell. (1978). *The motion of ships moored in waves*. New Scientist.
- [98] Santás, J. (1988). Long ways in a spanish harbour. *XXI International Conference on Coastal Engineering*. Torremolinos.
- [99] Sawaragi. (1984). *New mooring system to reduce ship motions and berthing*.
- [100] Schellin, T., & Ostergaard, C. (1993). *The Vessel in Port: Mooring Problems*. Elsevier.
- [101] Seamanship International. (2007). *Tanker Jetty Safety*. Witherbys.
- [102] Seidl. (1973). *Predictions of motions of ships moored in irregular seas*.

- [103] Shore Tension R. (15 de Agosto de 2014). *Shore Tension R.* Recuperado el 15 de Agosto de 2014, de Shore Tension R.: www.shoretension.com
- [104] Sijberden, H. (2006). *Safe mooring. Bollards in the port of Rotterdam.* Arttechnik.
- [105] SOLAS-Organización Marítima Internacional. (2014). *SOLAS Consolidated Edition.* OMI.
- [106] Swiegers, P. (2011). *Calculation of the forces on a moored ship due to a passing container ship.* Stellenbosch University.
- [107] The Cordage Institute. (2004). *Fibre Rope Inspection and Retirement Criteria.* CI.
- [108] TTS Group ASA. (15 de Septiembre de 2014). *TTS Group ASA.* Recuperado el 15 de Septiembre de 2014, de TTS Group ASA: <http://www.ttsgroup.com/About-TTS/>
- [109] Ueda, S., Hirano, T., Shiraishi, S., Yamamoto, S., & Yamase, S. (2002). *Statistical Design of Fenders for Berthing Ship.* The International Society of Offshore and Polar Engineers.
- [110] Van Dokkum, K. (2007). *Ship knowledge.* Dokmar.
- [111] Vasco Costa. (1964). The Berthing Ship. En *The Dock and Harbour Authority.*
- [112] Vasco Costa. (1978). Fenders as energy dissipators. En *The Dock and Harbour Authority.*
- [113] Vasco Costa. (1978). Moored ships an oscillating systems. En *The Dock and Harbour Authority.*
- [114] Vasco Costa. (1978). Shipping ropes as energy absorbers. En *The Dock and Harbour Authority.*
- [115] Vervloesem, W. (2009). *Mooring and Anchoring Ships Vol 2.* Suffolk: Nautical Institute. ISBN: 9781870077941
- [116] Villa Caro, R. (Diciembre de 2013). Exigencias especiales para el amarre en buques. *Boletín Técnico de Ingeniería de la Armada*, 26-31. DOI:10.13140/2.1.1820.8323
- [117] Villa Caro, R. (2014). *Anteproyecto de un Bulkcarrier tipo Panamax de 75000 TPM: Equipos y Servicios.* Charleston: Createspace. ISBN: 978-1500984397
- [118] Villa Caro, R. (Diciembre de 2014). Equipos de amarre de los buques. Cargas de diseño, resistencia y factores de seguridad. *Boletín Técnico de Ingeniería de la Armada*, 60-62. DOI:10.13140/2.1.5040.2880
- [119] Villa Caro, R. (Octubre de 2014). Evolución e Historia de los sistemas de Amarre y Fondeo. *Revista General de Marina*(10), 457-469. ISSN: 0034-9569
- [120] Villa Caro, R. (Junio de 2014). Innovaciones en el Amarre y Fondeo. *Boletín Técnico de Ingeniería de la Armada*, 67-71. DOI:10.13140/2.1.4311.2006
- [121] Villa Caro, R. (Abril de 2014). Revolución en los sistemas de amarre de los buques. *Revista General de Marina*, 266(4), 475-490. ISSN: 0034-9569
- [122] Villa Caro, R. (Enero de 2015). Las Etapas de la Botadura. *Revista General de Marina*, 268(1), 67-80. ISSN: 0034-9569
- [123] Villa Caro, R. (2014). *Servicios Auxiliares Buques: Amarre y Fondeo.* Charleston: Createspace. ISBN: 978-1500916626
- [124] Villa Caro, R., Carral, L., & Fraguera, J. (2011). Costes portuarios de un buque frigorífico dotado de sistemas propios de transferencia de la carga.

- XXII Congreso Panamericano de Ingeniería Naval, Transporte Marítimo e Ingeniería* (págs. 11-12). Buenos Aires: IPIN. ISBN: 978-987-27394-0-9
- [125] Villa Caro, R., Carral, L., & Fraguela, J. (2013). Selección del equipo de amarre y fondeo de un remolcador. *XXIII Congreso Panamericano de Ingeniería Naval, Ingeniería Portuaria* (págs. 461-481). Isla Margarita: IPIN. ISBN: 978-980-7629-00-3
- [126] Villa Caro, R., Carral, L., & Fraguela, J. (2013). Sistema automatizado para el manejo de carga paletizada a bordo de buques frigoríficos. *XXIII Congreso Panamericano de Ingeniería Naval, Transporte Marítimo e Ingeniería* (págs. 609-610). Isla Margarita: IPIN. ISBN: 978-980-7629-00-3
- [127] Villa Caro, R., Carral, L., & Fraguela, J. (2014). Acciones a llevar a cabo para evitar los accidentes de trabajo de los profesionales del mar durante el uso de los equipos de amarre. En Facultad de Ciencias del Trabajo (UDC), *XIV Xornadas Galegas sobre «Condicións de traballo e saúde»* (págs. 270-282). Perlió (A Coruña): Asociación de Graduados Sociales de Ferrol. ISBN: 978-84-697-1306-8
- [128] Villa Caro, R., Carral, L., & Fraguela, J. (2014). Estudio de operaciones y maniobras relacionadas con el amarre en el entorno marino. En Facultad de Ciencias del Trabajo de UDC, *XIV Xornadas Galegas sobre «Condicións de traballo e saúde»* (págs. 284-299). Ferrol: Asociación de Graduados Sociales de Ferrol. ISBN: 978-84-697-1306-8
- [129] Villa Caro, R., Carral, L., & Fraguela, J. (2014). Estudio de viabilidad técnica para la implantación de novedosos sistemas de amarre en buques en el puerto de Ferrol (España). *II Congreso Panamericano de Ingeniería Marítima, Portuaria y Naval (CIMYN) y I Congreso de Corrosión*. Panamá: IPIN. DOI:10.13140/2.1.3864.5443
- [130] Villa Caro, R., Carral, L., & Fraguela, J. (2014). *Maniobras de Amarre en Buques. Formas de evitar los accidentes y estadísticas de los mismos*. Charleston: Creatspace. ISBN: 9781500909024
- [131] Villa Caro, R., Carral, L., & Fraguela, J. (February de 2015). Estudio Comparativo para la Selección del Equipo de Amarre en un Buque tipo Remolcador y en un Buque de Guerra. *European Scientific Journal*, 11(6), 23-31. ISSN: 1857-7881 (Print) e ISSN: 1857-7431
- [132] Villa Caro, R., Carral, L., Fraguela, J., & González, A. (2013). Estudio comparativo de las sociedades de clasificación en el cálculo del número de equipo de un buque. *XXIII Congreso Panamericano de Ingeniería Naval, Ingeniería Portuaria* (págs. 1267-1285). Isla Margarita: IPIN. ISBN: 978-980-7629-00-3
- [133] Yokohama Rubber Company. (2008). *Manual para defensas de goma neumáticas*. Yokohama FD04.