

# Diseño armonizado de motones, pastecas y cuadernales para el manejo de líneas de acero o sintéticas de elevado módulo (HMPE) en buques

Juan Carlos Carral-Couce, Luis Carral-Couce y José Angel Fraguela-Formoso  
Universidad de A Coruña

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7636>

## 1. INTRODUCCIÓN

Diversas maniobras en los buques, tales como el amarre, el movimiento de cargas, las maniobras de pesca y el remolque, necesitan de la intervención de líneas de cabo o cable para su ejecución. Todas estas líneas son accionadas por equipos específicos para estas funciones (cabrestantes y chigres), y dirigidas en su trayectoria mediante motones, pastecas y cuadernales.[1][2].

El buque mantiene en puerto su condición segura al disponer de amarras que lo unen a tierra. En esta función se utilizan los elementos fijos a la cubierta del buque, tales como guías, reenvíos (motones) y bitas, en combinación con los chigres de amarre encargados del trabajo sobre las estachas y cables.

El movimiento de cargas a bordo se realiza mediante el uso de puntales y grúas que manejan cabos y cables metálicos (amante y amantillo). Todos ellos cuentan con el auxilio de motones (Fig. 1) y cuadernales.

En las labores de pesca se utilizan cables para el remolque de la red y el izado a bordo del aparejo con las capturas. Estas operaciones las realizan los chigres de pesca y de lanteón, con la presencia de motones y pastecas que redirigen los cables.[3].

En la actividad de remolque, la línea de remolque que une el buque remolcado y el remolcador emplea como elementos de maniobra motones y pastecas.

Los principios de facilidad y rapidez en la ejecución de las maniobras, incremento en la seguridad y la posibilidad de su manejo con una tripulación reducida [4], han supuesto una constante evolución de las maniobras con cambios continuos en el diseño de los equipos y en los materiales utilizados. En contraposición al cable metálico que destaca por su durabilidad y elevada resistencia a la tracción, las fibras naturales o sintéticas son mucho más flexibles y fáciles de utilizar. El progresivo aumento de la capacidad resistente de las fibras sintéticas ha provocado su uso en operaciones hasta ahora reservadas a los cables metálicos.

Los motones, pastecas y cuadernales son elementos para elevar cargas que no disponen de accionamiento propio, no pudiendo realizar por si solas ninguna operación. Por ello están destinadas a ser incorporadas a otras máquinas para así formar un conjunto, son lo que la Directiva 2006/42 [5] define como cuasimáquinas.

Aunque en general deben cumplir el Real Decreto 1644/2008, que transpone la Directiva 2006/42/CE [5] conocida como de marcado CE, cuando se emplean en un buque destinado a la navegación marítima, quedan exentas de cumplir dicha directiva [5], debiendo someterse a las muy exigentes pruebas de

las Sociedades de Clasificación (SSCC) y de la Organización Marítima Internacional (OMI). Así los motones, pastecas y cuadernales, cada cuatro años o cuando lo especifique su certificado, deben ser sometidas a las pruebas de carga indicadas en la Tabla 1. Al mismo tiempo existen regulaciones correspondientes a la International Standard Association (ISO) y normas UNE/DIN tal y como ha quedado reflejado en [7] [8].

## 2. CRITERIO DE ARMONIZACIÓN PARA EL DISEÑO DE LOS MOTONES Y PASTECAS PARA SU EMPLEO A BORDO

La doble legislación, la correspondiente a las SSCC y la OMI por una parte y la debida a la ISO y normas UNE/DIN por otro, hace necesaria una armonización reglamentaria que unifique las

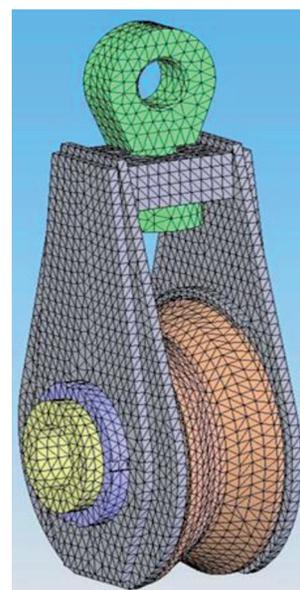


Fig. 1: Cálculo estructural de un motón mediante el método de elementos finitos (FEM). Fuente: Carral Design

Tipo	SWL	Carga de prueba
Motones y pastecas	todas	3.SWL
Cuadernales	< 20 Tn.	2.SWL
	>20 Tn.	1.5.SWL

Tabla 1: Pruebas de carga para los elementos de maniobra de acuerdo con la OMI y las SSCC. Fuente: [6] p. 70.

exigencias facilitando la producción y comercialización de los equipos marinos de cubierta [7][8][9], y en particular los motones, pastecas y cuadernales en el espacio económico europeo.

**2.1. CRITERIOS DE ARMONIZACIÓN**

Debido a razones económicas y técnicas e impulsadas por las nuevas tecnologías, las normas armonizadas son

un instrumento esencial en la Unión Europea, para eliminar los obstáculos técnicos en el mercado interior, permitiendo evaluar la conformidad de los productos (sistemas de acreditación, certificación, ensayos y calibraciones). Por eso, cada vez más, el Comité Europeo de Normalización, incorpora normas ISO como normas EN-ISO, en el ámbito de la construcción naval de bu-

ques, embarcaciones de recreo, equipos y máquinas [8].

Aplicando esta normalización se plantea una propuesta armonizadora entre las reglamentaciones de diseño que consiste en conjugar los criterios de las normas ISO 4301[10] y UNE 58-112-91[11], con la norma DIN 15020[12].

**2.2. CRITERIOS DE DISEÑO**

Por tratarse de un elemento de elevación donde su uso incorrecto puede causar graves daños materiales y humanos, así como la existencia de efectos dinámicos que multiplican la fuerza que el cable ejerce sobre el motón, debemos ser especialmente rigurosos en los procesos de diseño y de selección del equipo más adecuado a cada tipo de aplicación (Fig. 2)

**2.2.1. Definición del Cable**

El primer paso será definir el tipo y diámetro del cable. Para ello necesitamos la tracción máxima en el cable que calculamos según DIN 15020[12], considerando las fuerzas de aceleración ( $F_a$ ) y el rendimiento del aparejo que esta norma propone.

$$T = \frac{P + Q + F_a}{i \cdot \eta} \tag{1}$$

a) Diámetro. Existen dos opciones:

1ª- Considerar [12], aplicando:

$$d = c \cdot T^{0.5} \tag{2}$$

Donde c depende de la clasificación según [12] del grupo de mecanismo, del tipo de transporte y de la resistencia y tipo de alambres constituyentes del cable, considerando 9 grupos de “1Am hasta 5m” (Tabla 2).

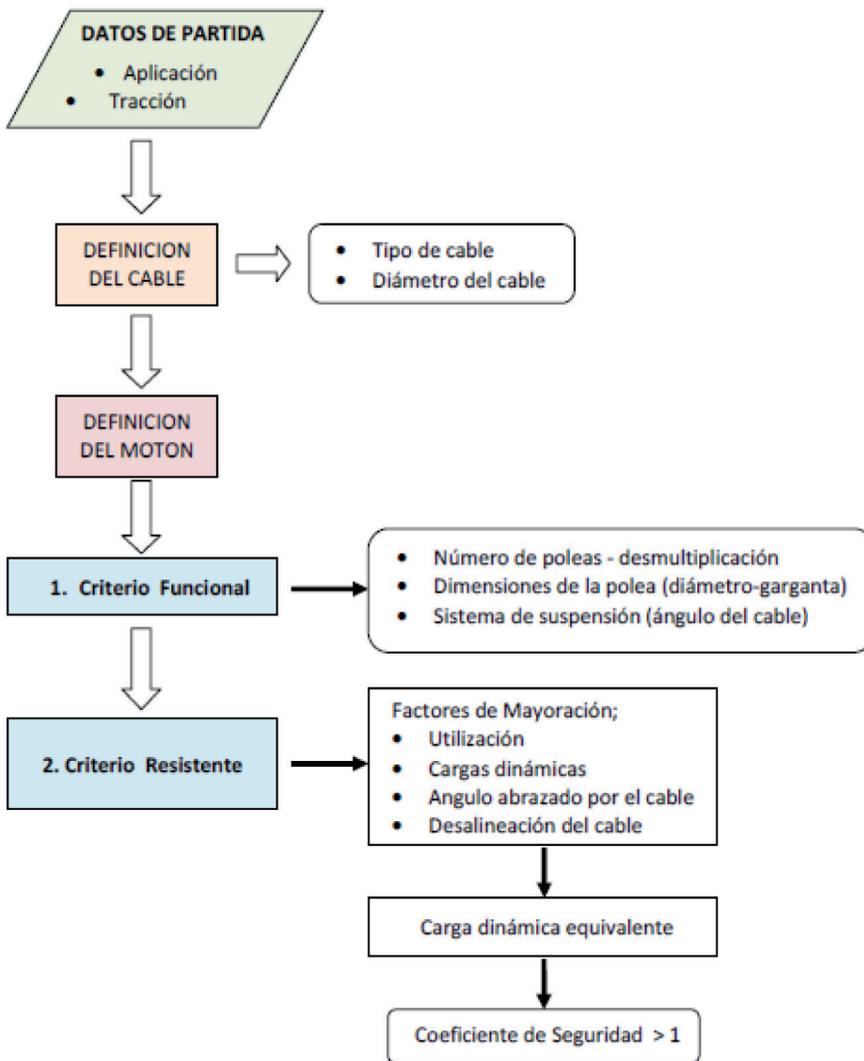


Fig.2: Procesos de diseño y selección de un motón

Factor K (tipo de carga)	Estado de Carga		Vida prevista de Funcionamiento (Horas)				
		Servicio	800	1600	3200	6400	12500
0.125		Frecuencia muy reducida de la carga máxima			M3 1Bm	M4 1Am	M5 2m
0.250		Frecuencia reducida de la carga máxima		M3 1Bm	M4 2m	M5 3m	M6 4m
0.500		Frecuencia aproximadamente igual de cargas pequeñas, medianas y máximas	M3 1Bm	M4 1Am	M5 2m	M6 3m	M7 4m
1		Frecuencia elevada de la carga máxima	M4 1Am	M5 2m	M6 3m	M7 4m	M8 5m

Tabla 2: Clasificación del equipo de elevación y factor de carga según [10] y [12]. Fuente: propia

2ª- Aplicar las normas ISO 4301[10] y UNE 58-112-91[11], que fijan el valor mínimo del coeficiente de seguridad  $Z_p$  del cable frente a la rotura;

$$Z_p > F/T \quad (3)$$

El valor de la seguridad mínima  $Z_p$  depende de la clasificación según ISO 4301[10] del grupo de mecanismo y del tipo de carga (K), considerando 8 grupos de “M1 a M8” (Tabla 2). Los coeficientes “c” y “ $Z_p$ ”, se indican en la Tabla 3.

b) Tipo de cable. Depende de la aplicación tal y como recoge [13].

## 2.2.2. Definición del Motón

### 2.2.2.1. Criterio Funcional

a) Número de Poleas. El sistema de maniobra vendrá determinado por la desmultiplicación, o número de poleas(n), necesarias para elevar la carga con el tiro disponible. Su cálculo se hace considerando el rendimiento de los aparejos indicado en (12) (ver tabla 4) y aplicando

$$R \geq \frac{T \cdot n}{\eta} \quad (4)$$

b) Dimensiones de las poleas. Las poleas quedan definidas por el diámetro

primitivo y el radio de la garganta. Aunque ambos parámetros son proporcionales al diámetro del cable, las normas [10] y [12] consideran diferentes coeficientes de proporcionalidad.

Para el diámetro [12] emplea la expresión (5), considerando el grupo de elevación y el tipo de montaje (Tablas 5 y 6), y [10] emplea la expresión (6) que solo considera el grupo de elevación.

$$D = h_1 h_2 d \quad (5)$$

$$D = h_1 d \quad (6)$$

ISO 4301[10]			DIN 15020[12]				
Grupo	Seguridad $Z_p$		Grupo	Coeficiente c			
	Normal	Cargas peligrosas		Normal		Cargas peligrosas	
				180	200	180	200
M3	3,5	4	1Bm	0,250	0,235	0,265	0,250
M4	4	4,5	1Am	0,265	0,250	0,280	0,265
M5	4,5	5,6	2m	0,280	0,265	0,315	0,280
M6	5,6	7,1	3m	0,315	0,280	0,335	0,325
M7	7,1	9	4m	0,335	0,325	0,375	0,365
M8	9	11,2	5m	0,375	0,365	0,425	0,400

Tabla 3: Comparativa de los coeficientes de cálculo: c para [12] y  $Z_p$  para [10].

Fuente: propia

Nº poleas (n)	2	3	4	5	6	7	8	9
Cojinetes	0,98	0,96	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,85
Rodamientos	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92

Tabla 4: Valores del rendimiento ) de los aparejos según ISO 15020[12].

Fuente: propia

Grupo		$h_1$ Cable normal		$h_1$ Cable antigiratorio	
FEM	DIN	Polea cable	Polea compens.	Polea cable	Polea compens.
M1	1 Dm	12,5	10	14	12,5
M2	1 Cm	14	12,5	16	14
M3	1 Bm	16	12,5	18	14
M4	1 Am	18	14	20	16
M5	2 m	20	14	22,4	16
M6	3 m	22,4	16	25	18
M7	4 m	25	16	28	18
M8	5 m	28	18	31,5	20

Tabla 5: Valores del coeficiente  $h_1$ , extracto de [12] y [10].

Fuente: propia

En poleas, donde el ángulo abrazado por el cable en la polea ( $\theta$ ) es siempre menor de  $360^\circ$ , se podrá aplicar la fórmula que indica [13].

$$D'/d = \frac{(D/d - 9) \cdot (g - 2)}{\alpha - 2} + 9 \quad (7)$$

Siendo g:

$$g = \frac{360 \cdot 6 \cdot d}{\pi \cdot \frac{D}{d} \cdot d} = \frac{2160 \cdot d}{\pi \cdot D} \quad (8)$$

La Tabla 7 resume los valores de  $D'/d$ , según [13] para cargas medias y máximas (correspondientes a los valores de  $K=0,5$  y  $K=1$  en la tabla 2) para las condiciones habituales de motones y pastecas (cables de cordones corrientes y un ángulo abrazado de  $120^\circ$ ).

El perfil de la garganta resulta determinante para la duración del cable y la polea. Para que el cable no se aplaste ni

Grupo	$h_2$	Descripción
FEM	1	En todos los casos
DIN	2	Polea de cable con doblez en el mismo sentido
	4	Polea de cable con doblez en sentido contrario
	0	Polea de compensación. Polea de equilibrio

Tabla 6: Valores del coeficiente  $h_2$ , extracto de [12] y [10].

Fuente: propia

Tipo de cable	Relación $D'/d$					
	Uso esporádico		Uso habitual		Uso intensivo	
	Cargas medias	Cargas máximas	Cargas medias	Cargas máximas	Cargas medias	Cargas máximas
$6 \times 7 + 1$	11	12	13	14	15	16
$6 \times 19 + 1$	10	11	11	12	13	14
$6 \times 27 + 1$	9	10	10	11	12	13
$6 \times 37 + 1$	9	9	9	10	11	12

Tabla 7: Relación entre el diámetro de la polea y el del cable.

Fuente: propia a partir de [13]

se pellizque [12] solamente recomienda un radio de garganta  $r_1$  igual a 0,525 veces el diámetro del cable, mientras que [14], es mucho más explícito, y admitiendo una desviación máxima del cable de  $4^\circ$ , tabula el radio de la garganta, su altura y el espesor de las pestañas para cada diámetro de cable. También indica que para evitar presiones excesivas del cable sobre la polea, este debe reposar sobre un arco de círculo mayor de  $45^\circ$ .

Referencias basadas en la experiencia, como [15] y [16], incluyen tablas donde para aumentar la vida del cable

proponen gargantas más amplias que la normativa [14].

Referencias como [15] y [17] añaden que para trabajos intensivos se deberá templar el área de contacto de la

polea hasta alcanzar una dureza mínima entre 200 y 230 Brinell según [15], y de 35 Rockwell C según [17].

c) **Sistema de suspensión.** De igual modo será necesario definir la geometría del elemento que une el motón a un punto fijo: el sistema de suspensión. Su objetivo es limitar el ángulo de desviación del cable con la polea, a valores próximos a cero. Así [17] admite un ángulo máximo de desviación del cable de  $1,5^\circ$ , mientras que [10] y [14] admiten hasta  $4^\circ$  para cables normales y  $1,5^\circ$  para cables antigiratorios.

**2.2.2.2. Criterio de capacidad resistente**

Los criterios para definir la capacidad resistente de los mecanismos de elevación figuran en la normas FEM 1001/98 [18] “Cálculo de los aparatos de elevación”, y UNE-EN 13001-2 [19] “Seguridad de las grúas”. Ambas, [18] [19] garantizan la seguridad definiendo unos estados de cargas mayorados, pero mientras que [18] lo hace en función del tipo de elemento de elevación (clase de grúa) y del tipo de mecanismo (elevación, desplazamiento, rotación, etc.), [19] lo hace en función del tipo de carga considerada (normal, ocasional, excepcional).

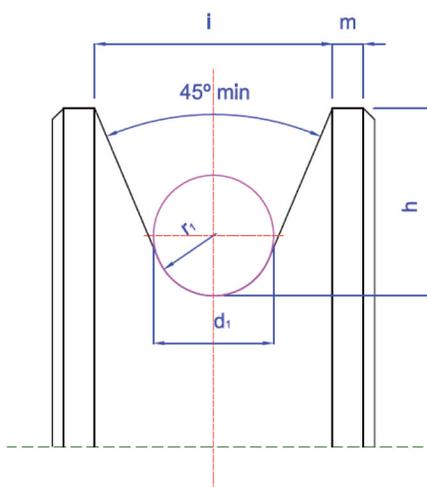


Fig. 3: Perfil garganta según DIN 15061 [14].

Fuente: propia

Radio garganta $r_1$		h		l		m		d cable (mm)
[14]	[16]	[14]	[16]	[14]	[16]	[14]	[16]	
4,2	4,8	15	18	18	20	4	5	8
6,5	7,2	20	25	25	30	5	5	12
9,5	10,2	30	32	38	40	6	8	18
13	13,2	37,5	40	48	50	8	10	24
16	16,8	45	48	59	60	8	11	30
21	21,8	60	64	78	85	11	15	40
28	28.4	75	75	99	100	12,5	17,5	52

Tabla 8: Comparativa dimensiones de la garganta.

Fuente: propia en base a [14] y [16]

Elemento de elevación	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Coefte. $\gamma_m$ -Factor $K_u$	1,00	1,04	1,08	1,12	1,16	1,20	1,25	1,30
Tipo de mecanismo	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Coefte. $\gamma_c$ - Factor $K_u$	1,00	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17	1,20

Tabla 9: Coeficientes de mayoración según FEM 1001/98.

Fuente: [18]

Por su parte las SSCC no definen estados de cargas mayorados, sino que exigen cargas de prueba muy superiores a las nominales de trabajo (véase Tabla 1). Y finalmente la Directiva de máquinas 2006/42[20] exige a todos estos elementos un coeficiente de seguridad de 1,25.

Ante estas discrepancias se propone un criterio que, cumpliendo toda la normativa exigible, la armonice. Consiste en aplicar el método tradicional de cálculo de la capacidad de resistencia mecánica de un elemento.

Se comprobará que el coeficiente de seguridad obtenido como el cociente entre la carga de límite elástico del motón, afectada por el factor de vida, y la carga estática equivalente de trabajo es mayor que la unidad. Es decir:

$$N = K_v \cdot Q_e / T_e > 1 \quad (9)$$

Siendo la carga estática equivalente, la carga nominal afectada por los coeficientes de mayoración;

$$T_e = T \cdot K_u \cdot K_d \cdot K_\theta \cdot K_\beta \quad (10)$$

Estos coeficientes son:

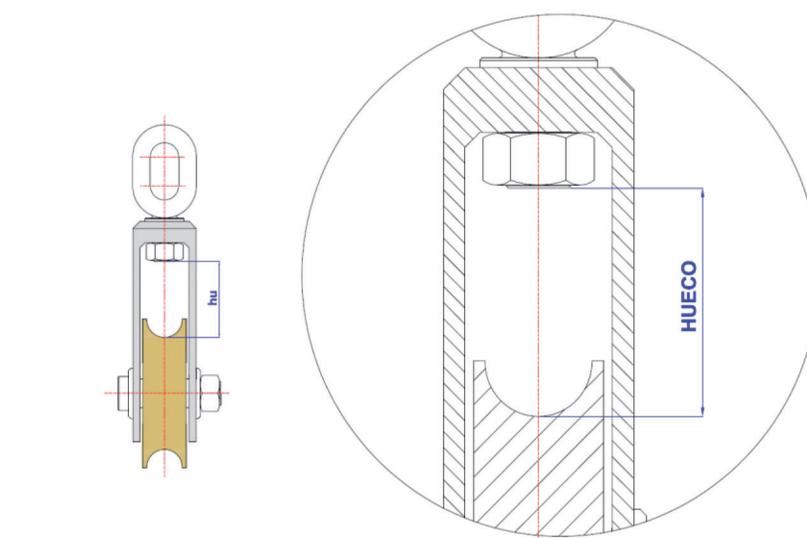


Fig. 4: Valor del parámetro hu para un motón-hueco. Fuente: propia

**Factor de utilización ( $K_u$ ).** La duración esperada del producto (vida útil) se define para unas condiciones nominales de velocidad y carga. Si aumenta un factor o ambos, la vida útil del equipo disminuirá. Este aspecto, que solamente lo considera [18], se indica en la Tabla 9, depende de la clasificación que según [10] tenga el elemento y mecanismo de elevación al que se acopla el motón.

**Factor de carga dinámica ( $K_d$ ).** Dada la gran dificultad para conocer la amplitud de las cargas alternantes y su valor medio, [21] y [22] definen este factor en función del tipo de movimiento y de la magnitud de los choques (Tabla 10).

**Factor debido al ángulo abrazado por el cable ( $K_\theta$ ).** La carga límite de tra-

Factor de carga dinámica $K_d$		Carga impulsada			
		Uniforme	Choques ligeros	Choques moderados	Choques fuertes
ACCIONAMIENTO	Movimiento uniforme	1	1,25	1,50	1,75
	Movimiento variable	1,20	1,40	1,75	2,25
	Movimiento alternativo	1,30	1,70	2,00	2,75

Tabla 10: Factor de carga dinámica. Fuente: [22]

Factor del ángulo abrazado por el cable $K_\theta$				
	ángulo	Factor $K_\theta$	ángulo	Factor $K_\theta$
	0°	0,5	130°	1,19
	30°	0,52	135°	1,31
	45°	0,54	140°	1,47
	60°	0,58	150°	1,92
	70°	0,61	160°	2,85
	90°	0,71	170°	5,88
	120°	1,00		

Tabla 11: Factor del ángulo abrazado por el cable. Fuente: propia a partir de [17]

bajo SWL del elemento se define para un ángulo entre los cables de entrada y salida de 120° [13]. Para otros ángulos se aplica el coeficiente que corresponda en la Tabla 11.

**Factor de desalineación del cable ( $K_\beta$ ).** [10] y [14] solamente limitan el ángulo máximo de desalineación que puede tener el cable en la entrada y salida. La desalineación del cable ( $\alpha$ ) genera fuerzas en la dirección del eje del motón cuyos efectos deben cuantificarse. El valor de este factor depende de

la geometría del motón y del ángulo de inclinación del cable respondiendo a la fórmula.

$$K_{\beta} = \cos \alpha + \frac{6 \cdot hu}{e \cdot \sin \alpha} \quad (11)$$

Para motones con geometría normalizadas según [23], y aceptando como admisible el ángulo desalineación de 2° considerado por [10] y [14], se obtienen los valores que se recogen en la Tabla 12.

Otros elementos que podrían comprobarse son los rodamientos. Para ello se pueden aplicar las directrices de la norma ISO -281/I-77[24] considerando la vida prevista del equipo aceptada para clasificar el equipo de elevación.

### 2.3. PROPUESTA ARMONIZADORA

La Tabla 13 recoge un resumen de las propuestas que se han enunciado para el diseño de motones y pastecas.

### 3. ADAPTACIÓN DE LA POLEA AL USO DE LÍNEAS HMPE (HIGH MODULUS POLYETHYLENE FIBRE)

Buscando una mayor eficacia en las maniobras de amarre, líneas de remolque, grúas y manejo de cargas, en los últimos años la industria marítima se ha dirigido hacia el empleo de la fibra artificial denominada HMPE (High Modulus Polyethylene Fibre) [25] P. 127. Sus grandes ventajas frente a otros materiales (Tabla 14); resistencia comparable a la del acero, mejor relación resistencia/peso que las demás fibras manteniendo un peso específico inferior a 1, lo que evita enredos con la hélice a la vez que

facilita el cobrado de la línea en el caso de remolcadores [26], han conducido a su rápida aceptación.

Las modificaciones a introducir en el proceso de diseño serán la consecuencia de la búsqueda del acabado superficial que minimice la pérdida de las propiedades mecánicas del material y la optimización de las dimensiones de la polea, así como la de seguir la tendencia actual en la búsqueda de materiales más resistentes a la intemperie.

#### Acabado superficial

El empleo generalizado en las maniobras de remolque de chigres de tensión constante donde el equipo repeti-

Angulo	1°	2°	3°	4°	5°
Factor de desalineación $K_{\beta}$	0,65	1,0	1,34	1,69	2,04

Tabla 12: Factor de desalineación del cable. Fuente: propia

Criterio	Parámetro	Criterio armonizado en base a la referencia	Indicaciones
Funcional	Nº de poleas	DIN 15020[12]	
	Diámetro polea	Martínezbárruri[13]	Considera el ángulo abrazado por el cable en la polea, lo que no hacen las normas DIN 15020[12] e ISO 4301 FEM [10]
	Perfil garganta	Larode et al.[16]	Garganta más ancha que la norma DIN 15061[14]
	Sistema de suspensión	Elaboración propia	Ya que únicamente existe normativa que limita la inclinación del cable
Resistente	Factor de utilización	FEM 1001/98[18]	Clasificación según ISO 4301 [10] y DIN 15020[12]
	Factor de carga dinámica	Dudley [21] y Mott [22]	La normativa actual no considera los factores dinámicos
	Factor de ángulo abrazado	Crosby Group. [17]	No lo contempla la FEM 1001[18]
	Factor de desalineación	Elaboración propia	Existencia de normativa que limita su valor máximo

Tabla 13: Resumen de la propuesta armonizadora. Fuente: propia

Material	Diámetro (mm)	Peso (kg/100m)	MBL (kN)	Alargamiento al 40 % del MBL	Alargamiento al 100% del MBL	Peso específico	Punto de fusión (°C)	Coficinte dinámico de fricción contra el metal
Polyester "double braid"	72	447.9	1054	8.5%	15-20%	1.38	250	0.12-0.15
Acero	72	2200	3500	0.8%	2-3%	7.85	1600	0.23
HMPE	72	318.5	3470	1.5%	4-5%	0.97	140	0.07

Tabla 14: Comparativa entre las propiedades de líneas de 72 mm. de diversos materiales. Fuente: Propia



Fig. 5: Línea de HPME deslizando en la garganta de un motón. Fuente [28]

tivamente cobra y larga línea, provoca un giro alternativo de las poleas. Este giro se traduce en un calentamiento de la línea debido, por lo menos a tres factores [27]: roce interno entre fibras por la tracción, roce interno por el giro de las fibras al curvarse en la polea y roce externo de la línea sobre la polea. Estos efectos son proporcionales a la frecuencia del giro y al tiro en la línea.

La consideración de la norma [14], para determinar la garganta de las poleas trabajando con cable de modo continuo, recomienda una rugosidad de 5 micras. La OCIMF [25] P. 166, a la hora de considerar los dispositivos de amarre, en el caso concreto de los alavantes determina un acabado que conduzca a una rugosidad media de 10 micras. En cuanto a las líneas de remolque, la ref. [29] (Figura 6) indica el efecto que la variación en la rugosidad de la bita (staple) presenta sobre la disminución de la resistencia al cabo de 5000 ciclos de abrasión, y recomienda un acabado superficial de 8 micras para los accesorios dispuestos en cubierta que entren en contacto con la línea.

La norma [14], para trabajos en continuo recomienda una rugosidad en la garganta de las poleas de 5 micras. La OCIMF [25] P. 166, a la hora de considerar los dispositivos de amarre, en el caso concreto de los alavantes, determina un acabado que conduzca a una rugosidad media de 10 micras.

Considerando que actualmente es relativamente sencillo conseguir aca-

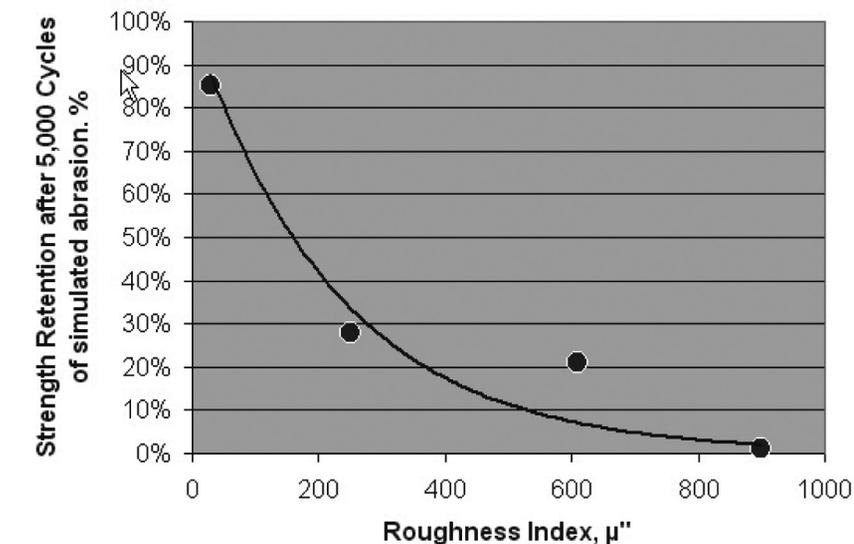


Fig. 6: Variación de la resistencia residual de la línea al variar la rugosidad de la guía. Fuente: [29]

Fuente: [29]

bados superficiales Ra de 3,2 μm., este sería el valor máximo aconsejado para la garganta de las poleas.

#### Dimensiones de las poleas

Para las fibras artificiales [30] determina un diámetro de la polea igual a 10 veces el diámetro de la línea con trenzado plaited, y de 8 veces para el trenzado braided. Para su arrollamiento en carretes la norma EN ISO 3730 [31]. "Shipbuilding – Mooringwinches" determina un valor mínimo de 6 veces el diámetro de la estacha. Si consideramos el diámetro necesario para la circulación de la estacha alrededor de un reenvío, la OCIMF [25] P. 82 establece una relación de 8.

#### Inalterabilidad de su acabado superficial

Considerando la agresividad del ambiente externo, y mientras no aparezcan nuevos materiales, para garantizar el mantenimiento de la rugosidad de la garganta la mejor solución actual es el empleo de aleaciones del tipo acero inoxidable [32] P. 150.

#### Otros elementos

Debido a la mayor flexibilidad de las líneas HMPE, el ángulo de inclinación de la línea en la polea será mucho menos crítico. Diferente es el caso de los rodamientos y del eje de la polea que al aumentar su número de ciclos de trabajo se deben dimensionar para esta nueva eventualidad.

## CONCLUSIONES

Los motones, pastecas y cuadernales son elementos auxiliares fundamentales en los buques para la realización de maniobras, sin embargo su consideración como elementos auxiliares, hace que su tratamiento regulatorio se encuentre disperso en una variada normativa. Con el desarrollo tecnológico de las líneas sintéticas de elevado módulo HMPE, que progresivamente van sustituyendo a los cables de acero, la normativa basada en ese material ha quedado obsoleta.

Del análisis de la normativa existente se deduce la necesidad de contar con una regulación completa y adecuada a las circunstancias de su uso a bordo. La propuesta de armonización recogida en la Tabla 13 considera los requisitos fundamentales que debe cumplir todo equipo; funcionales y resistentes.

Para los *requisitos funcionales*, las normas aplican diferentes criterios para las dimensiones de las poleas. Por ello se hace necesario formular una propuesta para determinar su diámetro y anchura, de acuerdo a normas más acordes con la operativa marítima. En relación con el tipo de suspensión, se establecen las limitaciones en el ángulo del cable por encima del cual deberá permitirse la libre orientación de la polea.

Los *requisitos resistentes* son el aspecto que presenta una mayor necesidad de criterios regulatorios. Se propone seguir el método clásico de capacidad resistente mayorando las cargas y consi-

derando cuatro factores; utilización, variación en las cargas, ángulo abrazado por el cable y su desalineación.

Por sus grandes ventajas técnicas, de resistencia, bajo peso específico y facilidad para las operaciones, todos los equipos y elementos de maniobra deberán adaptar sus características al empleo de líneas HMPE. Para los motones, pastecas y cuadernales esto se traducirá en la optimización de las características y dimensiones de la polea, el cálculo a fatiga de los elementos y el empleo de materiales más resistentes a la intemperie.

### PARA SABER MÁS

- [1] International Standard Organization, "ISO 3828: 1984 Shipbuilding and marine structures -- Deck machinery -- Vocabulary and symbols", 1984
- [2] International Standard Organization "ISO 8147: 1995. Derrick rigs and component parts – Vocabulary", 1995
- [3] Carral Couce L., "Influencia de la maquinilla de pesca en el buque de arrastre por popa", Actas del XIX Congreso Internacional Copinaval, Guayaquil, Instituto Panamericano de Ingeniería Naval, 2005.
- [4] Gaston M. J., "The tug boat, Hayne Publishing, Sparkford , 2009." – ISBN 9781844255276
- [5] Unión Europea. "Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de mayo de 2006 relativa a las máquinas". 2006
- [6] González Blanco R., "Manual de estiba para mercancías sólidas". Ediciones de la Universidad Politécnica de Catalunya, 2006, ISBN 978-84-8301-894-1
- [7] Carral Couce J., Carral Couce L., Fraguera Formoso J., Fernández Soto J., "El chigre de remolque en las maniobras de altura y de escolta: propuesta de armonización en sus parámetros de diseño", DYNA – Industria y Energía 88, 395 – 399. 2013, ISSN: 0012-7361 DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5657>
- [8] Carral Couce J., Carral Couce L., Fraguera Formoso, J, Villa Caro R., "Anchor Windlasses, a desing proposal to standardise regulations", International Journal of Maritime Engineering (RINA Transactions Part A) 157,95-104.2015
- [9] Carral Couce J., Carral Couce L., Fraguera Formoso, J, Villa Caro R Forthcoming, "Standardising the design and production of mooring winches through more cohesive regulations: a necessary step", International Journal of Maritime Engineering (RINA Transactions Part A), 2015
- [10] International Standard Organization, "ISO 4301-1:1986 Cranes and lifting appliances -- Classification -- Part 1: General", 1986
- [11] UNE "58-112-91. Grúas y aparatos de elevación. Clasificación. Parte 1: General", 1991
- [12] DIN 15020-1:1974 FEM "Cable lifting appliances; principles relating to rope drives; calculation and construction", 1974
- [13] Martínez Ibaruri P., "Sociedad Franco Española de Alambres y Cables Aéreos" Imprenta Industrial S.A. Bilbao, 1965.
- [14] DIN 15061: 1977 – 1– 77 "Perfiles de garganta para poleas", 1974
- [15] Ernest H., "Aparatos de elevación y transporte". Editorial Blume. 1ª edición. Barcelona 1970.
- [16] Larrodé E., Larrodé Pellicer E., Miravete de Marco A., "Grúas", Centro Politécnico Superior – Universidad de Zaragoza, 1996.
- [17] Crosby Group INC., "Advertencias e información sobre uso y mantenimiento de motones", 2009
- [18] FEM 1001/98. "Rules for the Design of Hoisting Appliances". 1998
- [19] UNE-EN "13001-2:2015. "Seguridad de las grúas. Requisitos generales de diseño. Parte 2: Acciones de la carga", 2015.
- [20] Unión Europea. "Directiva de Máquinas 2006/42". 2006
- [21] Dudley D.W., Radzevich S.P., "Handbook of Practical Gear Design" CRC Press, 1994
- [22] Mott. R. L. "Diseño de elementos de máquinas". Pearson Education. 4ª Edición. México. 2006. ISBN: 970-26-0812-0
- [23] UNE 27- 122- 74. "Normas para la Construcción naval- Pastecas para cable de acero", 1974.
- [24] International Standard Organization, "ISO 281/I – 77"
- [25] Oil Companies International Marine Forum (OCIMF), "Mooring Equipment Guidelines – MEG3" Oil Companies International Marine Forum (OCIMF), 2008.
- [26] Wardenier S., "Improved Efficiency in Connecting Tugs to Vessels ", Proceedings of the Tugology 2011, 2011.
- [27] Griffin B., Nishimura. "High Performance Winches for High Performance Tugs – Winch and HMPE Rope Limitations". Proceedings of the Tugology 2009; Amsterdam 2009.
- [28] Nuttall A., "Service life of synthetic fibre ropes in deepwater lifting operations", The 15th North Sea Offshore Cranes & Lifting Conference, 2010
- [29] Crump T., Volpenhein K., and Chou R., "Samson Abrasion and Fibre Fatigue in High Performance, Synthetics for Ship Escort and Berthing ", USA, ITS 2008, Singapore, 2008.
- [30] Allan, R. G., "Escort Winch, Towline, and Tether System Analysis PWSRCAC RFP No. 8570.12.01 Final Report Project 212 – 030 – Prince William Sound Regional Citizens' Advisory Council." [cited 2014 Jul]. Available from: [http://www.pwsrcac.org/wp-content/uploads/filebase/programs/maritime\\_operations/tanker\\_escorts/escort\\_winch\\_towline\\_and\\_tether\\_system\\_analysis.pdf](http://www.pwsrcac.org/wp-content/uploads/filebase/programs/maritime_operations/tanker_escorts/escort_winch_towline_and_tether_system_analysis.pdf), 2012.
- [31] International Standard Organization, "ISO 3730: 2012. Shipbuilding – Mooring winches". 2012
- [32] Hensen H., "Tug use in port: a practical guide", The Nautical Institute, 2<sup>nd</sup> edition, London. 2003.

### GLOSARIO

- P = Carga a elevar (Kg)  
 T= Tracción máxima (Kg)  
 Q = Peso de la parte móvil del aparejo (Kg)  
 $F_a$  = Fuerza de aceleración ( $m/s^2$ )  
 i = Relación del aparejo  
 $\eta$  = Rendimiento del aparejo  
 d = Diámetro del cable (mm.)  
 c = Coeficiente que depende de [12]  
 K= Factor de carga  
 C = Coeficiente según calificación DIN  
 F = Carga de rotura del cable (Kg)  
 $Z_p$  = Seguridad mínima según [11] y [12]  
 n = Número de poleas  
 D = Diámetro nominal de la polea (mm.)  
 D' = Diámetro de la polea para arrollamientos parciales de cable (mm.)  
 $r_1$  = Radio de garganta según [14]  
 $K_v$  = Factor de vida  
 $K_u$  = Factor de utilización  
 $K_d$  = Factor de carga dinámica  
 $K_\theta$  = Factor de ángulo abrazado por el cable  
 $K_\beta$  = Factor de desalineación  
 $Q_e$  = Carga de límite elástico (Kg)  
 $T_e$  = Carga estática equivalente (Kg)  
 h = Profundidad garganta (mm.)  
 l = Anchura garganta (mm.)  
 $\alpha$  = Desalineación del cable  
 e = espesor equivalente lateral motón  
 N = n° horas de vida nominales  
 SWL = Carga nominal de trabajo (Kg)  
 MBL = Carga mínima de rotura (Kg)