

Estudio del funcionamiento, materiales y mantenimiento de la jarcia firme en veleros actuales

Trabajo Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
Andreu Pujol Laguna

Dirigido por:
Jordi Torralbo Gavilán

Grado en Náutica y Transporte Marítimo

Barcelona, a 10 de Diciembre de 2018

Departament de Ciència i Enginyeria Nàutica



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona



Agradecimientos

Durante la realización de este trabajo he disfrutado escribiendo sobre algo que me gusta y he tenido la suerte de aprender e indagar aún más en este tema que me servirá para desarrollarme en mi futuro profesional, por este motivo me gustaría agradecer en primer lugar a mi madre y a mi padre por inculcarme desde pequeño el amor y el respeto por la mar, sin el cual este trabajo no lo habría llegado a hacer.

También agradecer a mi padre Jordi, que desde bien pequeño me ha mostrado su oficio y he aprendido de él todo lo que hoy se.

Después agradecer a mi pareja Alicia por todo el apoyo mostrado y por esos largos paseos por los puertos mirando barcos y buscando diferentes tipos de jarcias.

Por último agradecer a todos los compañeros de profesión de mi padre y grandes navegantes con los que he tenido ocasión de hablar, por no haber dudado ni un instante en ayudarme a solucionar las dudas que se me planteaban.

Y en especial agradecer al tutor de este trabajo, Dr. Jordi Torralbo, por aceptar la dirección de este trabajo y los consejos dados en cuanto a la profesión de inspector.

Resumen

En este trabajo se explicará el mantenimiento que se debe realizar en la jarcia firme de los veleros actuales, teniendo en cuenta cada uno de los diferentes materiales que se puede encontrar y el mantenimiento específico que requieren.

Para poder explicar el mantenimiento de la manera más exacta posible, el trabajo se ha dividido en cinco partes.

En la primera parte se explica cuál es el motivo de la jarcia firme y cómo funciona, mostrando que aparejos son los más comunes.

A continuación se nombrarán los elementos que complementan a los cables de la jarcia firme, sin los cuales esta no podría evolucionar como lo está haciendo, permitiendo los aparejos y el funcionamiento descritos anteriormente.

Para continuar, se analizarán los distintos factores y parámetros, en función de los cuales se elige una jarcia para un determinado barco y tipo de navegación.

Con estos tres puntos sobre la mesa, se analizarán al detalle los distintos modelos de jarcia firme existentes. Teniendo en cuenta su composición, material y técnica utilizada durante su construcción, aportándole unas propiedades específicas que le permiten satisfacer las necesidades concretas de su mercado.

Finalmente, se describirá de manera detallada el mantenimiento recomendado que se deberá hacer a la jarcia firme para mantenerla en un estado óptimo el máximo de tiempo posible.

Abstract

This dissertation will explain the maintenance that must be performed in the current sailboats' standing rigging, taking into account each of the different materials that can be found and the specific maintenance they require.

In order to explain maintenance as accurately as possible, the work has been divided into five parts.

The first part explains why we need the standing rigging and how it works, showing which rigs are the most common.

Secondly, the elements that complement the cables of the standing rigging will be named. Without this elements, the rigs of sailboats could not develop as described above.

Afterwards, the different factors and parameters will be analysed, depending on which a rigging is chosen for a specific ship and type of navigation.

With these three points on the table, the different models of standing rigging will be analysed in detail. Taking into account its composition, material and technique used during its construction, providing specific properties that allows it to meet the specific needs of its market.

Finally, the maintenance that should be done to the firm rigging to maintain it in an optimal state for as long as possible will be described in detail.

Índice

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE	VII
LISTADO DE ILUSTRACIONES	X
LISTADO DE TABLAS	XV

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA JARCIA FIRME MODERNA

2.1 ESTABILIDAD TRANSVERSAL	6
2.1.1 CRUCETAS	8
2.1.2 JARCIA TRANSVERSAL DISCONTINUA	10
2.1.3 JARCIA TRANSVERSAL CONTINUA	11
2.2 CONTROL LONGITUDINAL	12
2.2.1 APAREJO A TOPE DE PALO CON CRUCETAS RECTAS	13
2.2.2 APAREJO FRACCIONADO CON CRUCETAS RECTAS	15
2.2.3 APAREJO FRACCIONADO CON CRUCETAS RETRASADAS	17
2.3 OTROS ELEMENTOS DE LA JARCIA FIJA	20
2.3.1 VIOLINES	20
2.3.2 DIAMANTES	22
2.3.3 OUTRIGGERS	24
2.3.4 DEFLECTORES	25

CAPÍTULO 3. ELEMENTOS Y COMPLEMENTOS DE LAS JARCIAS EN LA ACTUALIDAD

3.1 PALOS	27
3.2 CADENOTES	28
3.3 TERMINALES	31
3.3.1 TERMINALES DE ESPARRAGO	32
3.3.2 TERMINALES DE OJO	32
3.3.3 TERMINALES DE BOLA Y COPA	33
3.3.4 TERMINALES EN T	34
3.3.5 TERMINALES EN T/OJO	34
3.4 TENSORES	35

3.4.1 TENSORES FIJOS	35
3.4.2 TENSORES VARIABLES	37
3.5 SISTEMAS HIDRÁULICOS	39

CAPÍTULO 4. PARÁMETROS Y FACTORES DE LA JARCIA FIRME EN LA ACTUALIDAD **41**

4.1 PARÁMETROS FÍSICOS DE LOS MATERIALES	41
4.1.1 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	42
4.1.2 ELASTICIDAD	43
4.1.3 PESO	44
4.1.4 DURACIÓN EN EL TIEMPO	46
4.1.4.1 INCLEMENCIAS METEOROLÓGICAS	46
4.1.4.2 ABRASIÓN	46
4.2 FACTORES A TENER EN CUENTA PARA LA ELECCIÓN DE LA JARCIA	47
4.2.1 TIPO DE NAVEGACIÓN	48
4.2.2 TIPO DE VELERO	48
4.2.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS	49
4.2.4 PRESUPUESTO	49
4.3 PROPIEDADES DE LA JARCIA SEGÚN TIPO DE BARCO Y NAVEGACIÓN	50

CAPÍTULO 5. MATERIALES DE LA JARCIA FIRME EN LA ACTUALIDAD **53**

5.1 CABLES DE INOXIDABLE	54
5.1.1 CABLE RÍGIDO	54
5.1.2 COMPACT STRAND	56
5.2 JARCIA DE VARILLA	58
5.3 JARCIA DE PBO	62
5.4 JARCIA DE DYNEEMA	66
5.5 JARCIA DE CARBONO COMPOSITE	70
5.5.1 ECSIX	74
5.5.2 ECTHREE	76
5.5.3 ECSIX AIRFOIL	76
5.6 JARCIA DE CARBONO COMPACTO	77
5.6.1 SCR	78
5.6.2 SCR AIRFOIL	83
5.6.3 CL HYBRID	90
5.7 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE LA JARCIA SEGÚN TIPO DE BARCO Y NAVEGACIÓN	91

CAPÍTULO 6. MANTENIMIENTO DE LA JARCIA FIRME **95**

6.1 PERIODOS DE INSPECCIÓN Y REVISIÓN RECOMENDADA	95
6.1.1 INSPECCIONES RECOMENDADAS	96

6.2 MANTENIMIENTO DE LA JARCIA DE CABLE INOXIDABLE	98
6.2.1 TERMINALES	98
6.2.3 CABLE	101
6.2.4 FALLOS COMUNES DE LA JARCIA DE CABLE INOXIDABLE	102
6.3 MANTENIMIENTO DE LA JARCIA DE VARILLA	107
6.3.1 TERMINALES	108
6.3.2 CABLES	108
6.4 MANTENIMIENTO DE LA JARCIA DE PBO	111
6.4.1 TERMINALES	112
6.4.2 CABLES	112
6.5 MANTENIMIENTO DE LA JARCIA DE DYNEEMA	113
6.5.1 TERMINALES	113
6.5.2 CABLES	114
6.6 MANTENIMIENTO DE LA JARCIA DE CARBONO COMPOSITE	114
6.6.1 TERMINALES	115
6.6.2 CABLES	116
6.7 MANTENIMIENTO DE LA JARCIA DE CARBONO COMPACTO	117
6.7.1 TERMINALES	118
6.7.2 CABLES	120
6.8 MANTENIMIENTO DE LOS CADENOTES	123
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES	127
BIBLIOGRAFÍA	132
ANEXOS	1
A1.1 CARGAS DE ROTURA Y PESO	1
A1.2 TABLAS DE DATOS AGRUPADOS	4

Listado de Ilustraciones

Capítulo 2. Descripción y funcionamiento de la jarcia firme moderna

Ilustración 1. Palo recto y esquema de la bolsa de la mayor. Fuente: Propia.....	4
Ilustración 2. Palo flexado y esquema de la bolsa de la mayor. Fuente: Propia	4
Ilustración 3. Estay sin tensión y esquema de la bolsa del génova. Fuente: Propia	5
Ilustración 4. Estay con tensión y esquema palo sin tensión. Fuente: Propia	5
Ilustración 5. Esquema del funcionamiento de la jarcia firme moderna. Fuente: Propia.....	6
Ilustración 6. Palos sin jarcia transversal. Fuente: Propia	6
Ilustración 7. Palo de monocasco sin crucetas. Fuente: Propia	7
Ilustración 8. Palo de multicasco sin crucetas. Fuente: Propia	8
Ilustración 9. Esfuerzos y deformaciones producidas por la jarcia transversal. Fuente: Alberto Puerto	9
Ilustración 10. Vista superior crucetas rectas. Fuente: Propia.....	10
Ilustración 11. Vista superior crucetas retrasadas. Fuente: Propia.....	10
Ilustración 12. Unión de la jarcia discontinua en el exterior de la cruceta. Fuente: Propia	11
Ilustración 13. Detalle de la jarcia continua en el exterior de una cruceta. Fuente: Propia	12
Ilustración 14. Perfil de velero aparejado a tope de palo. Fuente: Propia.....	15
Ilustración 15. Perfil de velero con aparejo fraccionado a 3/4. Fuente: Propia.....	16
Ilustración 16. Vista desde la aleta de babor de un aparejo fraccionado a 3/4. Fuente: Propia	16
Ilustración 17. Perfil de aparejo fraccionado a 7/8 con crucetas retrasadas. Fuente: Propia	18
Ilustración 18. Aparejo fraccionado a 7/8 con crucetas retrasadas. Fuente: Propia	18
Ilustración 19. Aparejo fraccionado con crucetas rectas y violín. Fuente: Propia	21
Ilustración 20. Aparejo fraccionado con crucetas rectas y dos violines. Fuente: Propia	22
Ilustración 21. Estructura de diamante con tres pisos de crucetas. Fuente: Propia.....	23
Ilustración 22. Outriggers del Imoca 60 <i>Safran</i> . Fuente: Vincent Curutchet	25
Ilustración 23. Deflectores en los backstays. Fuente: Crosbie Lorimer.....	26

Capítulo 3. Elementos y complementos de las jarcias en la actualidad

Ilustración 24. Esquema sobre elementos y complementos de la jarcia. Fuente: Propia	27
Ilustración 25. Cadenote del obenque. Fuente: Propia.....	29

Il·lustració 26. Anclaje del cadenote en la cuaderna maestra. Fuente: Propia.....	29
Il·lustració 27. Cuaderna maestra. Fuente: Propia.....	30
Il·lustració 28. Refuerzo estructural en la roda. Fuente: Propia	30
Il·lustració 29. Anclaje en un palo de aluminio. Fuente: Propia	31
Il·lustració 30. Anclaje en un palo de fibra de carbono. Fuente: Propia.....	31
Il·lustració 31. Esquema de tipos de terminales. Fuente: Propia.....	32
Il·lustració 32. Terminal de esparrago. Fuente: Propia.....	32
Il·lustració 33. Terminal de ojo. Fuente: Propia	33
Il·lustració 34. Terminales de bolas. Fuente: Propia.....	33
Il·lustració 35. Terminal en T. Fuente: Propia	34
Il·lustració 36. Terminal en T/ojo. Fuente: Propia	34
Il·lustració 37. Tensor clásico. Fuente: Propia.....	35
Il·lustració 38. Tensor fijo. Fuente: Propia	36
Il·lustració 39. Tensor manual mecánico. Fuente: Propia.....	37
Il·lustració 40. Tensor manual con polipastos. Fuente: Propia	37
Il·lustració 41. Tensor hidráulico. Fuente: Propia	37
Il·lustració 42. Tensor hidráulico de estay. Fuente: Propia.....	39
Il·lustració 43. Cilindro hidráulico a estribor del palo. Fuente: Propia	40
Il·lustració 44. Placas situadas entre la carlinga y la coz. Fuente: Propia	40
Il·lustració 45. Placas para elevar el palo. Fuente: Propia	40
Capítulo 4. Parámetros y factores de la jarcia firme en la actualidad	
Il·lustració 46. Esquema de los parámetros físicos. Fuente: Propia	41
Il·lustració 47. Curva de Esfuerzo/Deformación. Fuente: Propia.....	43
Il·lustració 48. Abrasión producida en un cable de Acero Inoxidable. Fuente: Jordi Pujol.....	47
Il·lustració 49. Esquema sobre factores a tener en cuenta. Fuente: Propia	47
Il·lustració 50. Supermaxi CQS. Fuente: Richard Gladwell.....	49
Capítulo 5. Materiales de la jarcia firme en la actualidad	
Il·lustració 51. Materiales de las jarcias en la actualidad. Fuente: Propia	53
Il·lustració 52. Cable rígido. Fuente: Propia	54
Il·lustració 53. Sección de cable rígido. Fuente: CdP Jarcias.....	55
Il·lustració 54. Sección de Dyform. Fuente: CdP Jarcias.....	56

Ilustración 55. Perfil y sección de Dyform. Fuente: <i>Bridon International Ltd.</i>	57
Ilustración 56. Sección de Varilla. Fuente: CdP Jarcias.....	59
Ilustración 57. Sustitución de jarcia de Varilla. Fuente: Propia.....	59
Ilustración 58. Diámetro correspondiente a jarcia de la Ilustración 57. Fuente: Propia	60
Ilustración 59. Medición de estabilidad. Fuente: Propia.....	62
Ilustración 60. Fibras de Zylon alrededor de un terminal. Fuente: <i>Easy Rigging</i>	63
Ilustración 61. Funda y fibras de un cable de PBO. Fuente: <i>Easy Rigging</i>	63
Ilustración 62. Sección de PBO. Fuente: Propia	65
Ilustración 63. Detalle de fibras paralelas, cabo de Dyneema. Fuente: Propia.....	66
Ilustración 64. Detalle del entrelazado de un cabo de Dyneema SK75. Fuente: Propia	66
Ilustración 65. Funda de un cabo de Dyneema. Fuente: Propia	68
Ilustración 66. Jarcia transversal de Dyneema. Fuente: Propia	69
Ilustración 67. Sección transversal, distribución interna de los rods. Fuente: Future Fibres	71
Ilustración 68. Cable de carbono composite con funda de Dyneema y sin funda. Fuente: Propia	72
Ilustración 69. Cable de carbono composite con protector. Fuente: Propia	73
Ilustración 70. Rods finos e intermedios. Fuente: Propia	74
Ilustración 71. ECsix en el Open60 PRB. Fuente: Vincent Riou	75
Ilustración 73. Sección transversal de la jarcia de Carbono Compacto. Fuente: <i>Carbo-Link</i>	77
Ilustración 74. Fusión del obenque alto con el diagonal en la jarcia continua de <i>Carbo-Link</i> en el terminal de la cruceta. Fuente: Propia.....	82
Ilustración 75. Backstay de SCR. Fuente: Propia	83
Ilustración 76. Vista de perfil y frontal de la jarcia SCR Airfoil de <i>Hall Spars & Rigging</i> . Fuente: Propia...	85
Ilustración 77. Medidas de la sección de una jarcia SCR Airfoil. Fuente: Propia.....	85
Ilustración 78. Comportamiento aerodinámico a 25° de AWA de la sección transversal de SCR Airfoil. Fuente: Hall Spars & Rigging.....	87
Ilustración 79. Comportamiento aerodinámico de una sección circular. Intensidad de viento media. Fuente: Lionel Espeyrac.....	88
Ilustración 80. Vórtices de von Karman en el comportamiento aerodinámico de una sección circular. Intensidad del viento alta. Fuente: Revista del Aficionado a la Meteorología	88
Ilustración 81. Backstay doble de CL Hybrid. Fuente: Propia.....	91
Capítulo 6. Mantenimiento de la jarcia firme	
Ilustración 82. Fisura en el borde de un terminal prensado. Fuente: Propia.....	99

Il·lustració 83. Terminal manual con cono. Fuente: Propia	99
Il·lustració 84. Terminal manual con mordazas. Fuente: Propia.....	100
Il·lustració 85. Terminal manual con conos montado. Fuente: Propia	100
Il·lustració 86. Interior del terminal manual con cono. Fuente: Propia	100
Il·lustració 87. Terminal manual con conos partido. Fuente: Propia	101
Il·lustració 88. Oxidación localizada, cable de Dyform. Fuente: Propia	102
Il·lustració 89. Abrasión en el cable rígido de un diamante. Fuente: Propia	103
Il·lustració 90. Hilo roto en cable rígido. Fuente: Propia	103
Il·lustració 91. Estay deformado por la driza de génova. Fuente: Propia	104
Il·lustració 92. Parte superior del estay partido por una driza. Fuente: Propia.....	104
Il·lustració 93. Estay del enrollador partido. Fuente: Propia	105
Il·lustració 94. Driza enrollada en el estay. Fuente: Propia.....	106
Il·lustració 95. Desviadrizas instalado en la driza de génova. Fuente: Propia	107
Il·lustració 96. Grieta en un terminal para varilla. Fuente: Propia.....	108
Il·lustració 97. Grietas longitudinales en jarcia de Varilla. Fuente: Propia	109
Il·lustració 98. Área oxidada en jarcia de varilla. Fuente Propia	109
Il·lustració 99. Cabezal prensado de varilla fisurado. Fuente: Propia.....	110
Il·lustració 100. Mala alineación de la jarcia. Fuente: Propia	111
Il·lustració 101. Vista del interior del terminal, jarcia de ECsix. Fuente: Propia	115
Il·lustració 102. Terminal de ojo, jarcia de ECsix. Fuente: Propia	115
Il·lustració 103. Race Film y funda de Dyneema en ECsix. Fuente: Propia	117
Il·lustració 104. Race Film dañado. Fuente: Propia.....	117
Il·lustració 105. Cono interior del terminal. Fuente: Hall Spars & Rigging.....	119
Il·lustració 106. Terminal de ojo en jarcia de <i>Carbo-Link</i> . Fuente: Propia	119
Il·lustració 107. Terminal de <i>Future Fibres</i> con rosca para el interior del palo. Fuente: Propia	119
Il·lustració 108. Unión del obenque alto con el palo. Fuente: Propia.....	120
Il·lustració 109. Cabeza del terminal, cable de carbono compacto. Fuente: Propia	120
Il·lustració 110. Fibras biaxiales, cable de carbono compacto. Fuente: Propia	121
Il·lustració 111. Unión terminal con jarcia de carbono compacto. Fuente: Propia	122
Il·lustració 112. Unión terminal con jarcia de carbono compacto. Fuente: Propia	122
Il·lustració 113. Palo y jarcia de carbono compacto invernando. Fuente: Propia	123

Ilustración 114. Grietas en un cadenote. Fuente: Propia.....	124
Ilustración 115. Cadenote partido. Fuente: Propia	124
Ilustración 116. Parte posterior del cadenote. Fuente: Propia	125
Ilustración 117. Cadenote partido bajo cubierta. Fuente: Propia.....	125
Ilustración 118. Velero clásico desarbolado tras rotura de cadenote. Fuente: Propia.....	126

Anexos

Ilustración 119. A1. Cargas de rotura y peso de cables de Inoxidable. Fuente: Yacht Riggers Mallorca	1
Ilustración 120. A2. Cargas de rotura y peso de la varilla. Fuente: BSI	2
Ilustración 121. A3. Cargas de rotura y peso de Dyneema SK78. Fuente: Dynamica Ropes.....	3
Ilustración 122. A4. Cargas de rotura de Dyneema DM20. Fuente: Dynamica ropes.....	3

Listado de Tablas

Capítulo 2. Descripción y funcionamiento de la jarcia firme moderna

Tabla 1. Comparación entre palo recto y flexado. Fuente: Propia	4
Tabla 2. Comparación entre estay suelto y tensado. Fuente: Propia	5
Tabla 3. Comparativa entre crucetas rectas y retrasadas. Fuente: Propia	10
Tabla 4. Comparativa de los aparejos y sus ventajas y desventajas principales. Fuente: Propia	19

Capítulo 3. Elementos y complementos de las jarcias en la actualidad

Tabla 5. Comparación tensores de backstay. Fuente: Propia	37
---	----

Capítulo 4. Parámetros y factores de la jarcia firme en la actualidad

Tabla 6. Comparación de Cargas de Rotura según composición, diámetro y material. Fuente: Propia....	42
Tabla 7. Comparación del peso de 100 metros de jarcia según composición, diámetro y material. Fuente: Propia	45
Tabla 8. Comparativa de precios de jarcias metálicas a 2018. Fuente: Propia	50
Tabla 9. Comparativa entre tipos de navegación y características de la jarcia buscadas. Fuente: Propia	51

Capítulo 5. Materiales de la jarcia firme en la actualidad

Tabla 10. Comparativa de tres tipos de jarcias con diferentes secciones. Fuente: <i>Hall Spars & Rigging</i> ..	86
Tabla 11. Calificación de los materiales de la jarcia según diversos parámetros. Fuente: Propia.....	92
Tabla 12. Comparación de los materiales de la jarcia según tipo de navegación. Fuente: Propia	93

Capítulo 6. Mantenimiento de la jarcia firme

Tabla 13. Revisión de la arboladura Nivel A. Fuente: <i>Carbo-Link</i>	96
Tabla 14. Revisión de la arboladura Nivel B. Fuente: <i>Carbo-Link</i>	97
Tabla 15. Revisión de la arboladura Nivel C. Fuente: <i>Carbo-Link</i>	97
Tabla 16. Comparativa de inspecciones entre categorías. Fuente: <i>Carbo-Link</i>	97
Tabla 17. Tabla comparativa de la esperanza de vida de las jarcias de cable. Fuente: <i>Sailing Solutions</i> ..	98
Tabla 18. Consejos simples para alargar la vida de las jarcias metálicas. Fuente: Propia	102
Tabla 19. Comparativa entre terminal de babor sin corrosión y terminal de estribor con corrosión. Fuente: Propia	122

Anexo

Tabla 20. A1. Comparativa de diámetros y carga de rotura según material. Fuente: Propia 4

Tabla 21. A2. Comparativa de diámetros y peso según material. Fuente: Propia 5

Capítulo 1. Introducción.

Este trabajo nace con tres finalidades principales. La primera, y más importante, es redactar y agrupar en un único documento el máximo posible de conocimientos adquiridos a lo largo de los años trabajando junto a mi padre como rigger profesional en Valencia. Estar en contacto directo con la arboladura de los veleros durante los últimos 6 años y navegando desde que nací, me ha permitido redactar a conciencia este trabajo, apoyándome en numerosos recursos fotográficos que, si más no, hacen la lectura más amena i comprensible.

La segunda finalidad es aportar información para minimizar el desconocimiento generalizado sobre este tema. Dentro de la náutica deportiva, las jarcias solo son vistas como los cables que aguantan los palos y nada más, son muy pocas las personas que se interesan por este mundo tan desconocido y a la vez tan amplio, que solo es conocido por un pequeño grupo de profesionales. Este mundo es predominantemente anglosajón y, como es controlado por unos pocos, existe una gran cantidad de secretismo y ocultismo que se pretende esclarecer, divulgando el máximo de novedades posibles.

Por último, este trabajo no pretende ser simplemente un trabajo académico, se realiza de cara a ayudarme en mi futuro profesional. Para finalizar la carrera de Náutica y Transporte Marítimo hice las prácticas embarcado en Salvamento Marítimo, concretamente en el remolcador *Marta Mata* destinado en Palma. Este remolcador estaba amarrado al lado del varadero, en la zona donde se montaban y desmontaban los palos, por lo que una parte importante del material fotográfico se tomó entre marzo y julio del 2018. Estando allí tuve claro que me gustaría seguir alguna rama del oficio familiar y, tras hablar con profesores y profesionales del sector, tuve claro que mi futuro profesional estaba como inspector. Por lo tanto este trabajo lo he redactado con la idea de utilizarlo de guía en mi profesión y ampliarlo conforme vayan saliendo nuevos productos.

Al tratarse de un trabajo explicativo/descriptivo realizado con los conocimientos que se han ido adquiriendo, *en los capítulos y subcapítulos que se crea necesario se introducirá un apartado encuadrado y en cursiva donde se encontrarán aportaciones técnicas, experiencias personales y consejos que ayudarán a aclarar términos usados y a hacerse una idea general más completa de lo que se expone, permitiendo hacer una mejor exposición del trabajo.*

Al ser aportaciones personales, se pueden encontrar diferentes versiones en el sector, debido principalmente a que, casos comentados como regla general, no se pueden aplicar a algunos casos concretos.

Capítulo 2. Descripción y funcionamiento de la jarcia firme moderna

Para navegar correctamente hay que tener un control total de las velas, es decir, que sea posible modificar la forma de estas de acuerdo a los diferentes ángulos de incidencia del viento así como la intensidad. Si se tiene este control de la vela es posible regular la escora del barco y la potencia, de modo que la máxima fuerza posible se aproveche para hacer avanzar el barco.

Por definición, este control que se ejerce sobre las velas se llama trimado. En la vela mayor y el génova, el elemento de trimado principal es la escota y el carro, con estos se ajusta el ángulo de incidencia entre la vela y el viento, regulando de esta manera la escora; pero existen más elementos de trimado.

El elemento de trimado del que se hablará en este trabajo es el palo y la jarcia firme. Estos elementos no se usan únicamente para sujetar el velamen, sino que sirve para regular la profundidad de las velas, de manera que se pueda modificar la potencia, como se verá más adelante también existen diferentes configuraciones de palo y jarcia firme según el tipo de navegación que se vaya a realizar.

La profundidad de la vela se entiende como la diferencia entre el ángulo de entrada y de salida del viento respecto de la vela. De este modo, por regla general, interesa que cuando haya poco viento esta diferencia sea lo mayor posible de manera que el viento haga un mayor recorrido y de una manera más suave y progresiva, con lo que las turbulencias se minimizan y la presión que se ejerce sobre la vela aumenta; en cambio con forme el viento vaya aumentando nos interesa tener una diferencia de ángulo cada vez menor para que el viento se deslice sobre la vela lo más rápido posible evitando que este se acumule en la vela provocando un aumento de la escora y la pérdida de avance que eso supone.

Esta profundidad se entiende debido a que las velas, aparte de no ser planas, tienen una curva positiva en el grátil, por lo tanto cuando la vela mayor se iza en el palo, sigue la forma de este y se adapta creándose dos situaciones diferentes como se puede observar en la Tabla 1.

En el caso del génova, al igual que la mayor, esta profundidad también es regulable como se puede observar en la Tabla 2, en este caso la diferencia recae en que la vela en vez de ser izada sobre el palo, se iza sobre el estay de proa, por lo que se adapta a su forma.

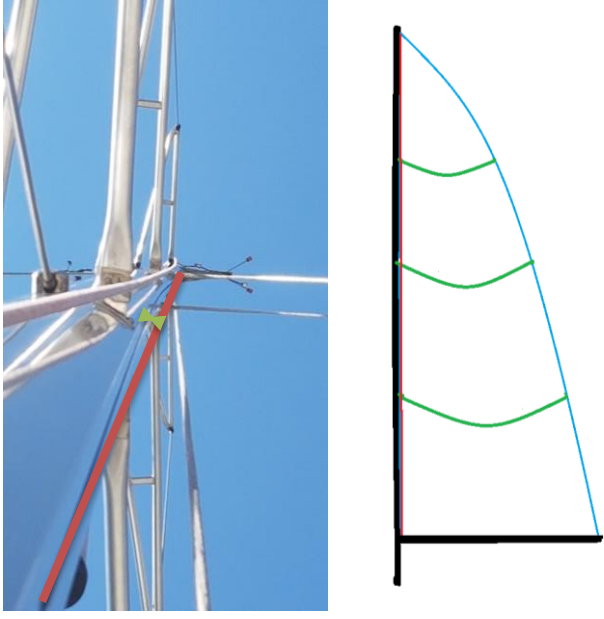
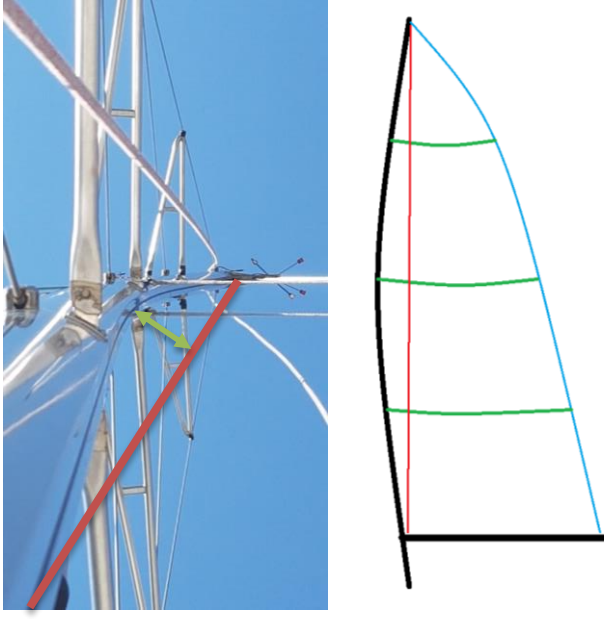
<p style="text-align: center;">Palo totalmente recto</p> <p>Interesa en condiciones de poco viento, se consigue de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quitando la tensión en el aparejo • Tirando el palo hacia proa • Sujetando la parte central del palo para evitar la flexión <p>Se consiguen los siguientes resultados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La distancia lineal entre la baluma y el gratil es inferior, por lo tanto es más profunda • La vela tiene una forma más redonda • La diferencia entre el ángulo de entrada y de salida del viento es mayor 	 <p>Ilustración 1. Palo recto y esquema de la bolsa de la mayor. Fuente: Propia</p>
<p style="text-align: center;">Palo completamente flexado</p> <p>Interesa en condiciones de mucho viento, se consigue de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sumando tensión en el aparejo • Palo hacia popa • Flexión del centro del palo hacia proa <p>Se consiguen los siguientes resultados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La distancia lineal entre la baluma y el gratil es mayor, por lo que la profundidad de la vela disminuye • La vela tiene una forma más plana • La diferencia entre el ángulo de entrada y salida del viento es menor 	 <p>Ilustración 2. Palo flexado y esquema de la bolsa de la mayor. Fuente: Propia</p>

Tabla 1. Comparación entre palo recto y flexado. Fuente: Propia

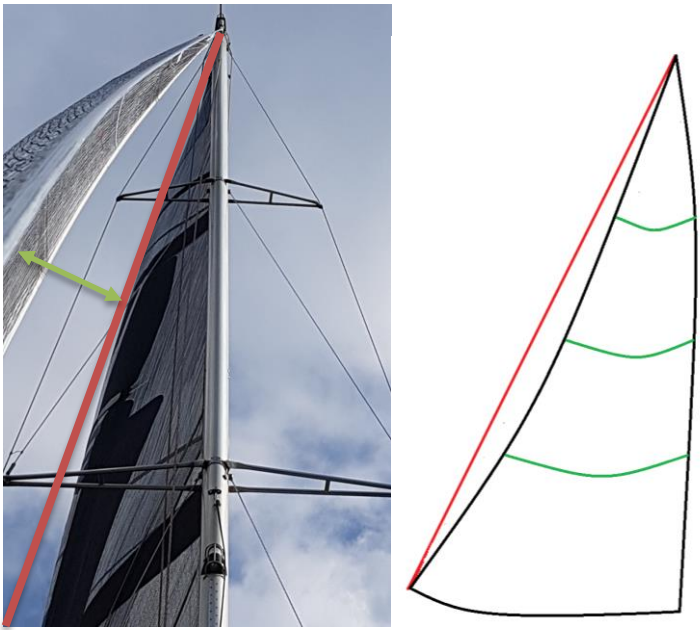
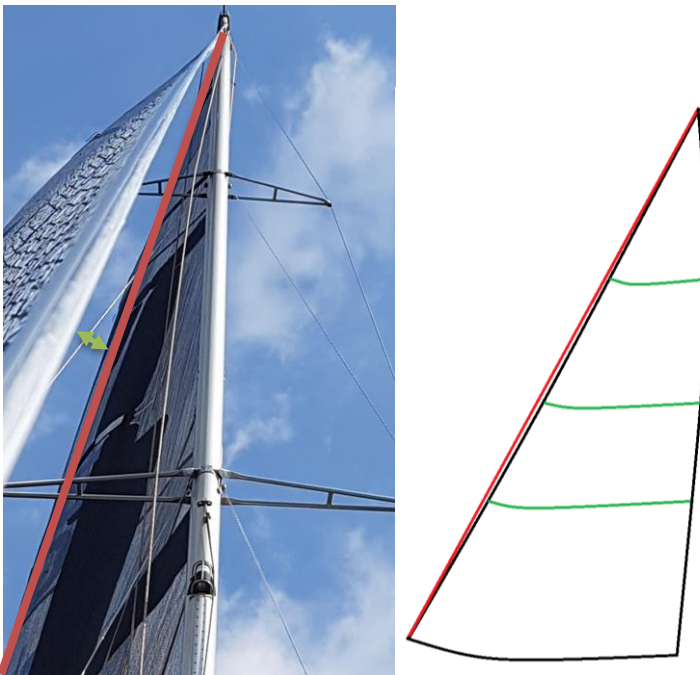
<p style="text-align: center;">Estay totalmente suelto</p> <p>Interesa en condiciones de poco viento, y se consigue de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No hay tensión en el aparejo • Palo hacia proa • El palo no tiene ninguna tensión <p>Se obtienen los siguientes resultados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El estay queda destensado y curvado a sotavento • La distancia entre la baluma y el gratil es menor, por lo tanto hay más profundidad • La diferencia entre el ángulo de entrada y de salida del viento es mayor 	 <p>Ilustración 3. Estay sin tensión y esquema de la bolsa del génova. Fuente: Propia</p>
<p style="text-align: center;">Estay completamente tenso</p> <p>Interesa más tensión cuanto más viento, se consigue de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mediante tensión en el cable • Palo hacia popa • Palo flexado con la parte central hacia proa <p>Se obtienen los siguientes resultados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El estay queda tensado y en cruja • La distancia entre la baluma y el gratil aumenta, por lo que la profundidad disminuye • La diferencia entre el ángulo de entrada y salida del viento es menor 	 <p>Ilustración 4. Estay con tensión y esquema palo sin tensión. Fuente: Propia</p>

Tabla 2. Comparación entre estay suelto y tensado. Fuente: Propia

Como se ha visto hasta ahora, el palo y la jarcia juegan un papel decisivo no solo a la hora de sujetar el velamen, sino también a la hora de trimar las velas para optimizar al máximo el viento y transformarlo en el avance del barco. A continuación se describirá el funcionamiento de la jarcia con el fin de entender cómo se da la estabilidad transversal y el control longitudinal que hacen posible este trimado.

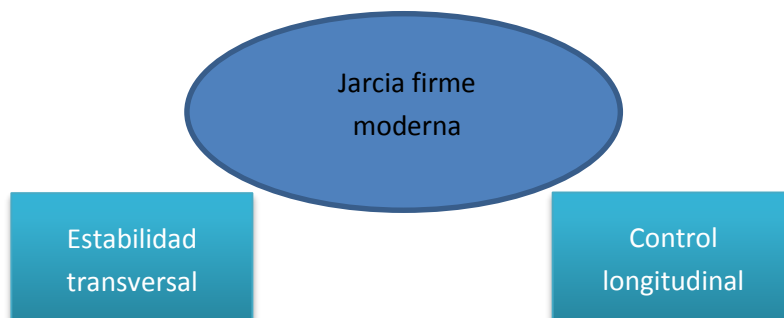


Ilustración 5. Esquema del funcionamiento de la jarcia firme moderna. Fuente: Propia

La jarcia firme está compuesta principalmente por cables, pero cada uno de ellos no es independiente de los demás, ya que cuando se le otorga cierta tensión provoca un efecto en el conjunto. Este efecto hay que tenerlo muy presente a la hora de entender el funcionamiento de las jarcias, así como la manera en que se transmite la fuerza de las velas, provocada por el viento, al casco.

2.1 Estabilidad transversal

De cara a conseguir la estabilidad transversal del palo lo primero que se busca es un palo que se sujete en posición vertical. Excepto en algunos barcos de vela ligera, como el Optimist, donde el palo se sujeta por sí mismo; no es una técnica habitual, ya que conforme aumenta la eslora de los barcos y los esfuerzos que han de soportar, el diseño de un palo sin soporte transversal daría como resultados aparejos muy pesados como en el que se ve en la Ilustración 6, donde se puede observar unos palos de un tamaño fuera de los estándares sin ningún tipo de jarcia transversal o longitudinal.



Ilustración 6. Palos sin jarcia transversal. Fuente: Propia

Para evitar estos diseños tan anchos y pesados se debe recurrir a sujetarlos transversalmente mediante la jarcia firme.

Si se dispusiera de un velero con una gran manga y un palo corto, sería suficiente con colocar un obenque lateral, con lo que este problema de estabilidad quedaría solucionado. El problema viene cuando la altura del palo es superior a la manga disponible, con lo que el cable trabajaría con un ángulo respecto al palo muy pequeño. Este ángulo se ha demostrado matemáticamente que ha de ser superior a 13° para que el cable trabaje correctamente¹ y no estalle por tracción, ya que la tensión sobre los cables sería demasiado grande, así como la compresión en el palo. Esta compresión también supone un problema, ya que haría pandear el perfil de este perdiendo totalmente la forma.

Pese a estos inconvenientes producidos por una manga inferior a la altura del palo, hay prototipos de monocasco los cuales el palo simplemente está sujeto transversalmente mediante unos obenques altos, que van directamente a cada banda, por lo que evita que el palo caiga a sotavento y unos obenques que salen de la parte intermedia del palo, por lo que evitan que la sección intermedia pueda flexar a sotavento, como se puede ver en la primera imagen de la Ilustración 9. Para superar los problemas de resistencia de materiales planteados en el párrafo anterior, se utiliza un diámetro del perfil del palo muy ancho y con una pared delgada, esto da como resultado un palo con una inercia transversal superior y una disminución en el peso, lo que le otorga más rigidez al conjunto. Para la jarcia se opta por el sobredimensionado de esta, ya que ha de ser capaz de resistir tensiones más altas producidas por un ángulo inferior entre el palo y el obenque. En la Ilustración 7 se puede ver resaltada en rojo los obenques altos y bajos que sujetan transversalmente el palo.



Ilustración 7. Palo de monocasco sin crucetas. Fuente: Propia

Esta técnica es más común en multicascos, ya que estos al disponer de una manga muy superior a los anteriores, no necesitan de un sobredimensionado tan radical, debido a que llegan a satisfacer el ángulo de trabajo expuesto anteriormente. En la Ilustración 8 se puede ver como la jarcia, resaltada en rojo, crea un ángulo respecto al palo bastante más superior que en el caso de los monocascos.

¹ Dato extraído del artículo *Geometría del palo* por Alberto Puerto en la revista YATE / Julio de 1996 Nº358



Ilustración 8. Palo de multicasco sin crucetas. Fuente: Propia

2.1.1 Crucetas

Para evitar sobre tensión en los obenques y un posible pandeo del palo se colocan las crucetas, estas son unos perfiles perpendiculares acoplados al palo que se colocan solidariamente a ambas bandas, para conseguir esta estabilidad, el obenque alto que va desde el extremo del palo hasta cubierta debe pasar por el extremo de esta. La tensión del obenque alto de barlovento se transmite a través de la cruceta hasta el palo imprimiendo una flexión a sotavento de este originando igualmente un pandeo de la sección, para contrarrestarla se coloca un obenque en diagonal, llamado diagonal o obenquillo, que tire desde el anclaje de la cruceta en el palo hasta la base del obenque alto en cubierta con lo que contrarrestará la flexión a sotavento del palo en dicho punto o en el extremo de la cruceta inferior en caso de haber más de un piso de crucetas. Es decir, cada cruceta debe de tener su correspondiente diagonal para contrarrestar la tensión de los obenques altos.

Para entender mejor el funcionamiento de las crucetas y los obenques diagonales, se pueden observar las situaciones descritas en la Ilustración 9. La nomenclatura utilizada es la siguiente: V1, V2 y V3 son los tramos de los obenques altos o verticales, yendo de menos a más según la altura; D1 y D2 los obenquillos o diagonales, siguiendo la misma numeración que los anteriores; P la presión que ejerce la cruceta y M la presión que se ejerce sobre el palo.

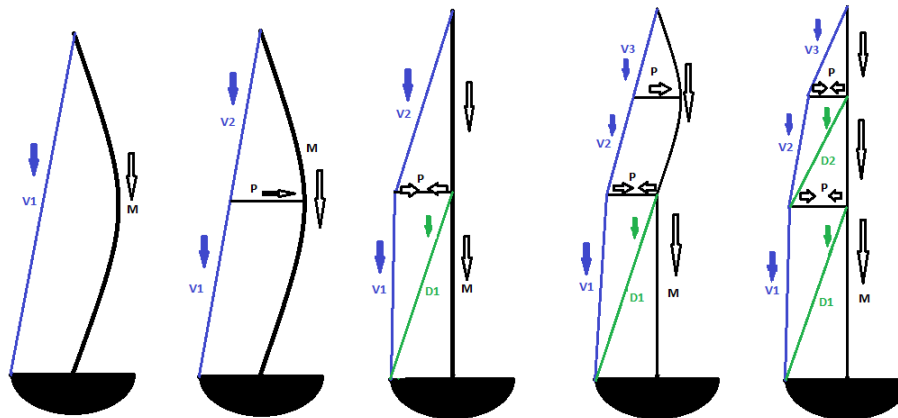


Ilustración 9. Esfuerzos y deformaciones producidas por la jarcia transversal. Fuente: Alberto Puerto²

De las anteriores ilustraciones se pueden deducir las siguientes observaciones:

- *Cuanto mayor sea la longitud de la cruceta respecto el total del aparejo los obenques infringen una presión más grande, y como resultado mayor será la compresión que transmitirá a la sección del palo. Por este motivo el diagonal que va de dicha sección del palo al piso inferior deberá ser de mayor diámetro para tener más resistencia y así evitar el pandeo de la sección.*
- *Cuanto menor sea la distancia en cubierta entre los obenques, mayor será compresión que ejercerán al palo. Esta compresión provocará una mayor posibilidad del pandeo. Este pandeo indeseado se podrá evitar de dos maneras dependiendo de la navegación para la que se haya diseñado el velero. Por ejemplo para barcos de navegación oceánica, que navegan con vientos portantes, se usará un diámetro del perfil más ancho con paredes finas, con lo que será más rígido y necesitará pocas crucetas para evitar el pandeo; por otro lado los barcos diseñados para hacer regatas de barlovento-sotavento buscan perfiles con un diámetro inferior y más flexibles, por lo que necesitaran un número de crucetas superior.*

Un factor de gran importancia es el ángulo respecto crujía que tienen las crucetas. Este ángulo hace variar la transmisión de fuerzas de las crucetas con lo que se dan dos casos perfectamente diferenciados como se puede apreciar en la siguiente Tabla 3, estos son crucetas rectas, también conocidas como perpendiculares o lineales, y las crucetas retrasadas.

² Ilustración basada en la imagen obtenida del artículo *Geometría del palo* por Alberto Puerto en la revista YATE / Julio de 1996 N°358



<p>Crucetas rectas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Situadas a 90° respecto crujía• Solo intervienen en la estabilidad transversal• Trabajan con una tensión inferior debido a que solo aportan estabilidad transversal• Trabajan con jarcia continua y discontinua• Existe un mayor control del palo, se puede modificar la forma del perfil sin complicaciones• En cruceros de cierta edad es una configuración común	 <p>Ilustración 10. Vista superior crucetas rectas. Fuente: Propia</p>
<p>Crucetas retrasadas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Situadas con un ángulo superior a 90° respecto al eje de crujía• Aportan sujeción longitudinal evitando la caída a proa del palo• Trabajan con una tensión superior para satisfacer el punto anterior y dar tensión suficiente al estay• Principalmente trabajan con jarcia discontinua• Los diámetros de los diagonales son superiores para compensar las grandes presiones que ejercen las crucetas• Dificultad de trimar el palo para dar la curvatura deseada• Habitual en cruceros más modernos y barcos de regatas nuevos debido a las simplificaciones que supone	 <p>Ilustración 11. Vista superior crucetas retrasadas. Fuente: Propia</p>

Tabla 3. Comparativa entre crucetas rectas y retrasadas. Fuente: Propia

2.1.2 Jarcia transversal discontinua

Se entiende como jarcia discontinua aquella donde los cables que forman los obenques y diagonales forman unidades independientes los unos de los otros. Los cables no son continuos de arriba a abajo y

se nombran según sean diagonales D o verticales V, como se observa en el último croquis de la Ilustración 9.

De cara al trimado de estos palos los verticales solo tienen un tensor, este está situado a la altura de cubierta; mientras que cada diagonal tiene su tensor colocado en la parte inferior. Esto permite un trimado más preciso de la jarcia, pero para trimar los diagonales que terminan en las crucetas hay que subir al palo. Por este motivo, y pese que algunos barcos de crucero disponen de esta configuración, es comúnmente utilizada en barcos de regatas.

En la Ilustración 12 se observa la unión entre los diferentes segmentos que conforman los obenques verticales y diagonales en el extremo de una cruceta.

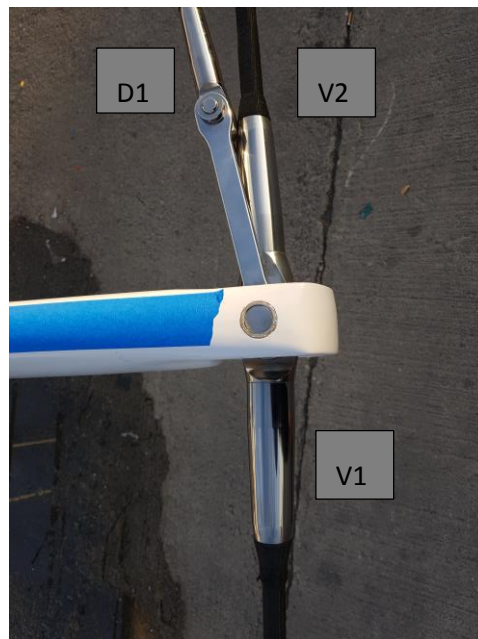


Ilustración 12. Unión de la jarcia discontinua en el exterior de la cruceta. Fuente: Propia

2.1.3 Jarcia transversal continua

Se consideran que la jarcia es continua cuando, a diferencia de la anterior, los cables son enteros desde el anclaje en el palo hasta la cubierta. De este modo el cable pasa por el extremo de la cruceta, donde será fijado para que no se salga ni mueva, siendo de gran importancia que esté bien fijado al terminal de la cruceta ya que cuando navegamos, la jarcia de sotavento se destensa y esto podría hacer que la cruceta se mueva y no trabaje en el punto óptimo.

En el supuesto que se tengan dos crucetas diferenciaremos entre obenques altos, obenques medios y obenques bajos. En la Ilustración 13 se observa en detalle el primer piso de crucetas, se puede apreciar el obenque alto, el cual sube hasta el extremo de la segunda cruceta para posteriormente dirigirse al anclaje del palo y el obenque medio, que sale de cubierta, pasa por el extremo de la cruceta y va directamente al anclaje del palo.

Con esta configuración se aprecia que los mismos obenques hacen de verticales y diagonales a la vez, por lo que el trimado no se puede hacer tan exacto como en el caso anterior. Como ventaja destacar que en caso de querer modificar las tensiones de la jarcia no es necesario subir al palo, ya que se puede

regular desde cubierta.

Este tipo de configuración solamente se suele ver en arboladuras con una o con dos crucetas, en barcos con más crucetas se utiliza la jarcia discontinua.

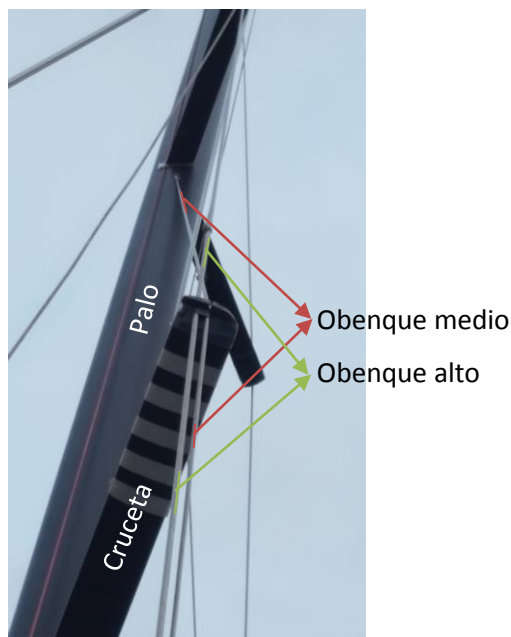


Ilustración 13. Detalle de la jarcia continua en el exterior de una cruceta. Fuente: Propia

2.2 Control longitudinal

Se entiende como control longitudinal la capacidad de cambiar la curvatura del perfil del palo y la tensión del estay con la finalidad de dar a las velas la profundidad deseada i poderla cambiar según las condiciones reinantes.

Para obtener este control longitudinal existe una gran variedad de configuraciones, en este apartado se analizaran tres de las configuraciones más utilizadas de cara a facilitar la comprensión de cómo funcionan y actúan cada uno de ellos para curvar longitudinalmente el palo y dar tensión al estay con el fin de controlar la profundidad de las velas.

Los elementos principales que se encargan a dotar al palo de este control longitudinal son los siguientes:

- Estay de popa (Durante este trabajo se utilizará el término anglosajón backstay): es un cable que va desde la línea de crujía de popa hasta el tope del palo, su función es impedir el movimiento hacia proa de este. Este se puede regular usando tensores manuales e hidráulicos.
- Estay: cable que va desde la proa hasta la parte superior del palo. Su función principal es evitar la caída del palo a popa y subir a través de él ciertas velas como el génova o el foque.
- Estay intermedio: cable anclado en la cubierta de proa entre el estay y la base del palo que sube hasta aproximadamente el 60% de la altura total del perfil, no lleva ninguna vela y su función es proporcionar rigidez a la parte intermedia del palo evitando una flexión negativa del perfil hacia popa. En aparejos con crucetas retrasadas no tienen ninguna utilidad estructural por lo que carecen de este.

- Babystay: es un cable anclado desde delante de la base del palo hasta justo por debajo del primer piso de crucetas, tiene la función de mantener longitudinalmente la parte inferior del mástil, actúan en conjunto con los obenques bajos de popa, llamados D1A. En ciertos aparejos, el babystay es sustituido por dos obenques bajos hacia proa, llamados D1F. El babystay y D1F solo tienen sentido en aparejos con crucetas rectas.
- Burdas volantes: Son cables que van desde diversas alturas del perfil de popa del palo hasta la cubierta de popa. Se denominan volantes debido a que al estar por popa si fuera una solamente, como en el caso del backstay, sería imposible usar la vela mayor. Por este motivo se sitúan solidariamente a cada banda, quedando tensa la de barlovento y suelta la de sotavento. Pese a que se pueden cazar o largar completamente, se incluyen dentro de la jarcia fija ya que actúan como un elemento de sujeción similar a los citados anteriormente. Y estas se regularán mediante polipastos.

En barcos de regata y cada vez en más cruceros las burdas dejan de ser de cables de inoxidable y empiezan a ser textiles, de materiales como el Dyneema³.

Según la altura que salgan del palo, dentro de burdas volantes encontramos los siguientes tipos:

- Burdas altas: Salen de la parte superior del palo y sirven para dar tensión al estay.
- Burdas bajas: Están ancladas en la sección intermedia del perfil, y su función es impedir una flexión no controlada de la parte central, así como un efecto pandeo longitudinal del perfil que deformaría la vela. Pueden interactuar con el estay intermedio.

Normalmente cuando en un mismo aparejo conviven burdas altas y bajas, estas funcionan al unísono, es decir acaban en el mismo sistema de polipasto común que simplifica la maniobra, ya que ambas burdas son trimadas a la vez. Posteriormente en algunos barcos se puede ajustar la burda baja de manera independiente con un sistema más reducido acoplado al principal, ya que esta burda no hace tanta fuerza como la burda alta y su función es de dar rigidez a la parte central del palo.

A continuación se analizarán los tres aparejos más representativos y comunes que existen para aparejar un velero *sloop marconi*, es decir un solo palo y velas triangulares. Los aparejos que se analizarán serán: aparejo a tope de palo con crucetas rectas, aparejo fraccionado con crucetas rectas y aparejo fraccionado con crucetas retrasadas.

2.2.1 Aparejo a tope de palo con crucetas rectas

Se define como aparejo a tope de palo aquel donde el estay queda anclado en la parte superior del palo. Transversalmente el palo quedará sujeto mediante las crucetas rectas y longitudinalmente quedará sujeto por el estay que impedirá que el palo caiga a popa y el backstay que impide que caiga a proa.

³ Nombre comercial de las fibras de polietileno de peso molecular ultra alto

La tensión del estay depende de la tensión del backstay, cuanto más tensión se le dé al backstay mayor será la del estay, esto al mismo tiempo hará aumentar la compresión del palo por lo que pandeará longitudinalmente. Esta flexión longitudinal se podrá controlar de diversas maneras según sea un barco de crucero o de regatas.

Los barcos de crucero disponen de palos con una sección mayor y con un espesor de la pared también superior, por este motivo son palos más rígidos que tienden menos a pandear longitudinalmente. Para evitar que la flexión sea negativa se coloca el babystay o los correspondientes obenques bajos retrasados, estos obligarán al perfil a mantener una flexión positiva. Del otro lado, para evitar una excesiva flexión positiva del perfil se dispone de la vela mayor.

En los barcos de regatas el palo es por regla general mucho más estrecho y flexible. Esto provoca que el pandeo se haga más acusado y sean necesarios otros sistemas de sujeción. Para un mayor control de la curvatura del palo i de esta manera evitar que la mayor se aplane en exceso dispondremos de unas burdas bajas que tirarán de la mitad del palo hacia popa, resistiéndose a una flexión positiva del palo; del mismo modo, para evitar que el palo flexe negativamente, hacia popa, se dispondrá de un estay intermedio o de un babystay que tire a su vez hacia proa de la sección de proa del palo. Estos dos sistemas dan como resultado un control total de la flexión de la parte intermedia del palo, así como lo rigidizan e impiden que este pandee. Esta configuración se puede ver en la Ilustración 14, donde en azul aparecen el backstay y el estay respectivamente y en verde las burdas intermedias y el babystay.

En numerosas ocasiones se ha nombrado que la flexión correcta es hacia proa, esto es debido que una flexión inversa del perfil, es decir con la barriga hacia popa podría ocasionar la rotura del palo. Como se ha visto anteriormente para evitar esta flexión negativa se utiliza el babystay o el estay intermedio, el principal problema es que molesta a la hora de virar, ya que entorpece el paso de los grandes génovas de estos barcos. Para solucionar este contratiempo se diseñaron palos dotados de una preflexión positiva o incluso se llegó a anclar el estay un poco por debajo del backstay, dando como resultado una preflexión sistemática del perfil.

Ventajas

Como ventajas cabe señalar que la mayor pasa sin necesidad de soltar el backstay para que pase, por lo que se tiene la seguridad de que el palo no caerá a proa.

Desventajas

En desventajas señalar que por este motivo anterior la mayor no puede ser muy alunada, ya que no pasaría por debajo del backstay, por lo que los génovas han de ser más grandes para compensar la superficie vélica, haciendo más engorrosa y lenta la maniobra de virar. Esto se puede apreciar en la Ilustración 14, donde se ve que el Génova es mucho mayor que la mayor y para hacer una virada ha de dar toda la vuelta al babystay.

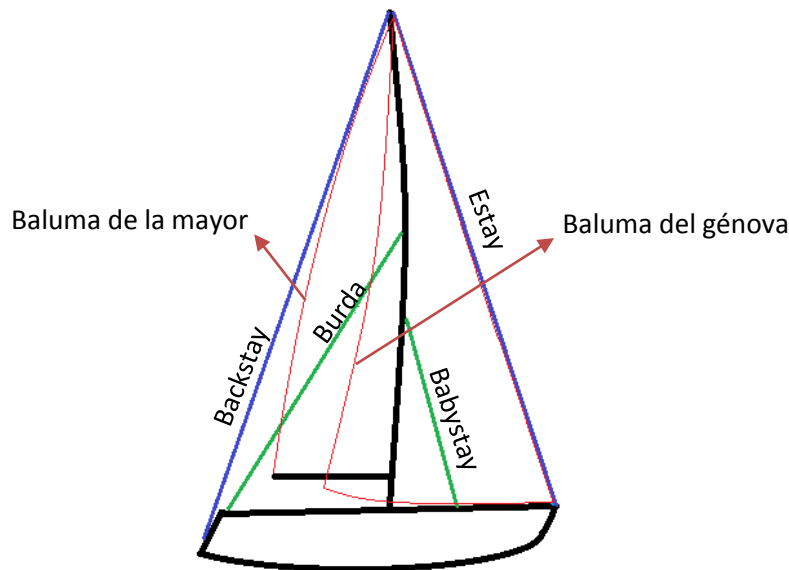


Ilustración 14. Perfil de velero aparejado a tope de palo. Fuente: Propia

2.2.2 Aparejo fraccionado con crucetas rectas

Se denomina aparejo fraccionado aquel en que el estay no llega arriba del todo del palo, sino que está anclado entre $7/8$ y $3/4$ de su altura total. Esta diferencia recaerá principal, pero no únicamente, en la dimensión de la vela de proa, ya que cuanto más pronunciado sea el fraccionamiento del palo menor sea la vela de proa y como resultado se hará una vela mayor de mayor tamaño. Al igual que en el caso anterior transversalmente quedará sujeto por la jarcia y las crucetas rectas, en cambio longitudinalmente quedará sujeto por el estay, impidiendo que el palo caiga a popa y por las burdas impidiendo que caiga a proa.

En esta configuración al estar el backstay tan por encima del estay no puede darle tensión, por lo que pasa a un segundo plano. Para poder tensar el estay será necesario la utilización de burdas volantes, que tendrán una función estructural primaria, ya que también serán las responsables principales de sujetar el palo para que no caiga a proa. Estas burdas altas volantes estarán ancladas al palo a la altura del estay o un poco por encima para dotarlo de una preflexión.

Al igual que en el caso anterior se podrá disponer de unas burdas bajas que le otorgarán el control necesario a la sección intermedia del palo, pudiendo controlar la flexión positiva que se quiera dar. Al tener el estay por debajo del back, el perfil ya estará dotado de una preflexión positiva, lo que hará innecesaria la existencia de un babystay o estay intermedio.

En cuanto a la jarcia transversal destacar que los obenques acaban a la altura del estay, por lo que el perfil situado entre el estay y el backstay solamente estará sujeto por este último. Esto permite hacer una sección extremadamente ligera ya que no se encuentra comprimida por la jarcia transversal y no tenderá a pandear.

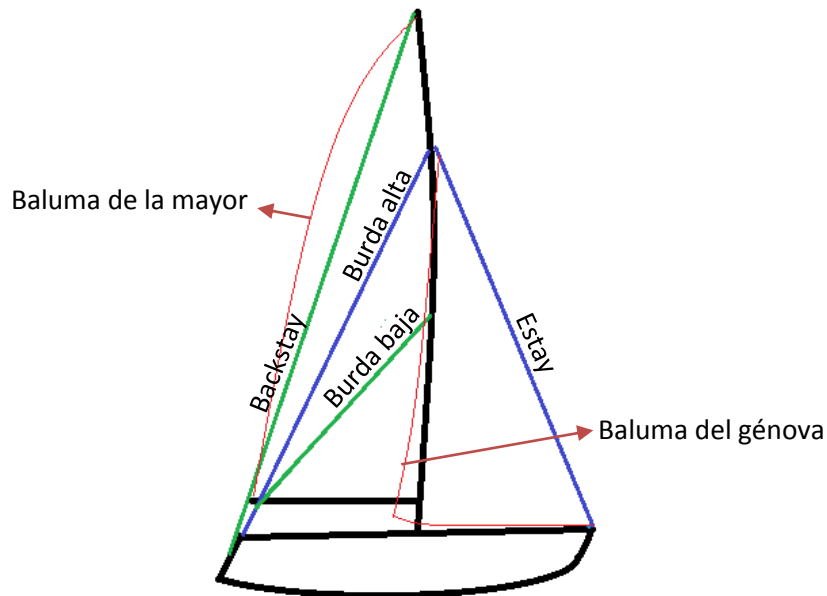


Ilustración 15. Perfil de velero con aparejo fraccionado a 3/4. Fuente: Propia



Ilustración 16. Vista desde la aleta de babor de un aparejo fraccionado a 3/4. Fuente: Propia

Ventajas

Esta configuración es muy común en barcos de regatas debido a la gran posibilidad de trimado que ofrece. Entre las ventajas cabe destacar la posibilidad de obtener la fección del perfil deseada sin necesidad de forzar el perfil usando un estay intermedio o babystay, ya que el palo está dotado de una preflexión positiva debido a la situación de los anclajes del estay, burda volante y backstay. Es decir, para regular la curva simplemente habrá que dar más o menos tensión a la burda baja. Otra ventaja es

que la perilla, la parte superior del palo, no está comprimida por la jarcia transversal, esto permite que sea mucho más ligera y flexible, esta cualidad es muy importante, no solo porque aligera el palo, sino porque en navegaciones con viento fuerte al darle tensión al backstay este hará flexar la perilla abriendo de este modo la baluma de la mayor y descargando viento. Finalmente destacar la eliminación del babystay o estay intermedio, esto permite que el génova pase por delante del palo sin ningún obstáculo. Por último señalar que la vela mayor puede ser más alunada, ya que el backstay se puede soltar para que la vela pase por debajo sin miedo a que el palo caiga a proa.

Desventajas

Entre las desventajas principales cabe remarcar que las burdas juegan un papel decisivo en la estabilidad longitudinal del palo, son las que lo aguantan. En las viradas las burdas no suponen un problema ya que el palo se sujeta momentáneamente por la tensión de la escota de la mayor. El problema recae en las trasluchadas, ya que la burda de sotavento está completamente suelta y la escota de mayor no aguanta el palo. Por ese motivo las trasluchadas han de ser controladas y a medida que se caza la escota de mayor para cambiarla de banda, ir cazando la burda de sotavento, así en el preciso momento en que la botavara cruza la línea de crujía, la burda de sotavento ya está cazada en su sitio pasando a ser la de barlovento y la antigua burda de barlovento se puede soltar sin miedo. Esta maniobra puede llegar a ser muy problemática i delicada con viento fuerte, ya que si el palo se queda sin el apoyo de las burdas podría caer. De todos modos cabe señalar que el backstay que está haciendo un papel secundario, en este preciso momento sería de vital importancia ya que podría sujetar el palo de popa evitando la desarboladura durante una trasluchada fallida.

2.2.3 Aparejo fraccionado con crucetas retrasadas

Al igual que en el caso anterior el estay está anclado sobre 7/8 o 3/4 de la altura total del perfil y se encarga de sujetar el palo longitudinalmente de proa, la diferencia recae en que en este sistema la estabilidad transversal y longitudinal van unidas. Al retrasar las crucetas, también se retrasan los cadenotes, por lo que se consiguen tirar el palo hacia popa y sujetarlo de esta manera.

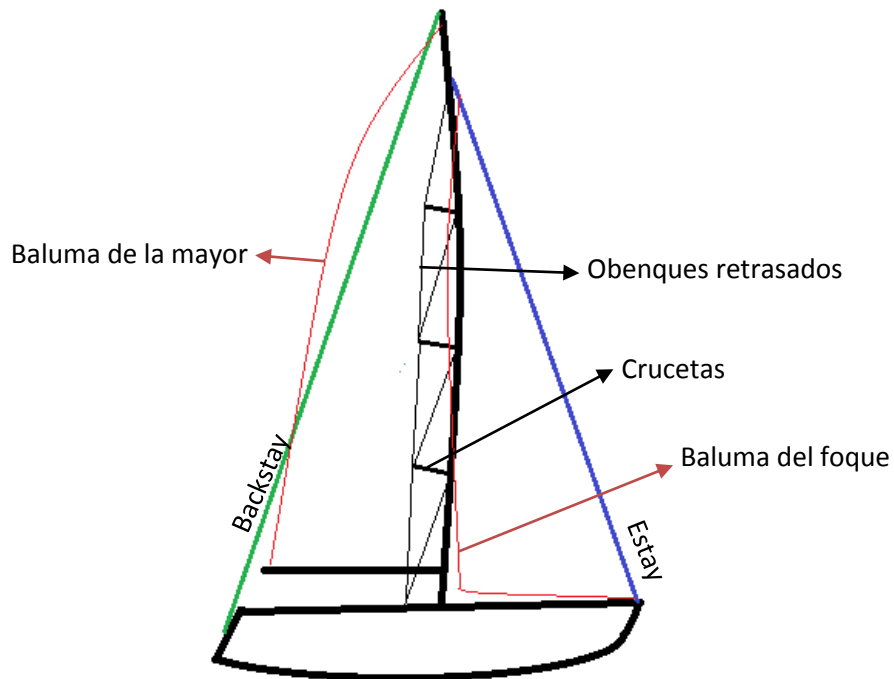


Ilustración 17. Perfil de aparejo fraccionado a 7/8 con crucetas retrasadas. Fuente: Propia



Ilustración 18. Aparejo fraccionado a 7/8 con crucetas retrasadas. Fuente: Propia

Ventajas

Este aparejo surgió de la necesidad de buscar alternativas menos complicadas que el fraccionado con crucetas rectas durante las trasluchadas. La ventaja principal con este nuevo aparejo recae en la estabilidad del palo ya no corre peligro, se encuentra sujeto por elementos fijos y como resultado la maniobra se simplifica enormemente.

Desventajas

Entre los inconvenientes se encuentran diversos puntos, principalmente debidos a que al estar retrasadas las crucetas, estas intervienen tanto en la estabilidad trasversal como en la longitudinal, funcionando de manera dependiente. El primer problema que encontramos es la tensión del estay, esta viene dada por la tensión de la jarcia transversal, debido a que el ángulo de las crucetas no puede ser muy radical, ya que en vientos portantes molestarían a la mayor, ocurre que no se le puede dar suficiente tensión al estay. De cara a solucionar este problema se puede colocar una burda volante anclada a la altura del estay que únicamente servirá para dar tensión a este y no tendrá ninguna función estructural. Otra solución será la de dar tensión al backstay. Estas soluciones son parciales y no acaban de solucionar el problema, ya que para tensar el estay es necesario tirar el palo para popa, los obenques al tener las crucetas retrasadas también actúan tirando el palo para popa y se quedarían sin tensión, por lo que el palo caería a sotavento perdiendo eficiencia. Por otro lado, cuando se quiere navegar con vientos portantes interesa tirar el palo hacia proa, es decir quitaremos tensión al backstay, el problema es que la jarcia transversal nos impedirá este movimiento a proa.

Por este motivo, tener los controles transversales y longitudinales mezclados hace que sea muy complicado conseguir un trimado perfecto y se tiene que navegar según las sensaciones que se tenga del barco. Pese a las desventajas comentadas, este es un aparejo que tiene una gran aceptación y se está usando principalmente en barcos tanto de crucero como de regates debido a que disponen de velas mayores mucho más grandes que los foques, por lo tanto es la vela mayor la que se necesita trimar de la mejor manera posible.

En la siguiente tabla se puede ver un resumen de las características más remarcables de cada tipo de aparejo analizado anteriormente, dotando a los valores bajos con un positivo (+) y a los altos con tres positivos (+++).

	Dificultad de maniobra	Estabilidad del aparejo	Trimado del palo	Optimización para regatas	Tamaño de la mayor	Tamaño de la vela de proa
Tope de palo con crucetas rectas	+	++	++	+	+	+++
Fraccionado con crucetas rectas	+++	+	+++	+++	++	++
Fraccionado con crucetas retrasadas	+	+++	+	++	+++	+

Tabla 4. Comparativa de los aparejos y sus ventajas y desventajas principales. Fuente: Propia

2.3 Otros elementos de la jarcia fija

Debido a que cada diseño de barco es diferente y tiene sus propias características, los aparejos se han de adaptar a ellos. Por este motivo y, pese a que tienen una misma base, estos aparejos deben evolucionar adaptándose mediante nuevos elementos y sistemas que satisfagan las necesidades que aparezcan. Entre los elementos más comunes encontramos estos cuatro que, pese a que no son los únicos existentes, sí que son los más representativos. Estos elementos son los violines, diamantes, outriggers y deflectores.

2.3.1 Violines

Es una obencadura adicional que aparece principalmente en aparejos fraccionados con crucetas rectas, se da en palos muy grandes o en barcos de regatas donde la sección del perfil es muy estrecha, por lo que el palo es muy flexible. Como se ha visto anteriormente, este aparejo se caracteriza por tener una perilla que está sujeta simplemente por el backstay, con mucho viento esto es positivo, ya que permite abrir la baluma y que el viento circule relajando la presión.

El problema viene en condiciones de viento medio, cuando interesa mantener esta presión en la vela mayor, una perilla tan flexible hace que cuando se caza la escota de la mayor la tensión se transmite a través de la baluma llegando a la perilla y flexionándola hacia popa, por lo que nunca se podrá trimar perfectamente la mayor, otro problema relacionado es que la jarcia transversal finaliza a la altura del estay, por lo que la perilla caerá a sotavento por la fuerza del viento en la vela mayor.

Para solucionar este problema y rigidizar esta sección del palo, en los aparejos más extremos y los de mayor tamaño, se diseñaron los violines, este sistema se basa en unas crucetas más pequeñas que las normales ancladas en la unión del estay con el palo, donde el obenque sale de la perilla del palo, pasa por el extremo de la cruceta y vuelve a anclarse al palo. Este sistema hace que la sección superior del perfil se rigidice evitando las situaciones antes descritas.

Cabe señalar que si estas crucetas son rectas solo darán rigidez transversal, pero hay una variante, en la que las crucetas están adelantadas. En este sistema las crucetas, al estar ancladas a la altura del estay, trabajan tanto transversalmente como longitudinalmente, así como ofrecen resistencia al estay para que no tire de la sección hacia proa.

En la Ilustración 19 se puede apreciar los obenques de un violín resaltados en rojo. Se ve como las crucetas salen del mismo punto que el estay, en naranja; las burdas altas volantes, en verde y la jarcia transversal, en negro.



Ilustración 19. Aparejo fraccionado con crucetas rectas y violín. Fuente: Propia

Ventajas

Como ventaja principal de este sistema señalar el aumento de rigidez de esta parte de cara a soportar la tensión del estay, dándole un plus de seguridad al aparejo en caso de trasluchada fallida, ya que absorbe parte del aumento de tensión producido y hace que la sección que va del estay al backstay trabajen de una manera similar a un aparejo a tope de palo.

Inconvenientes

Como desventaja simplemente señalar el aumento de peso en la parte alta del palo.

Como curiosidad, en la Ilustración 20 se puede apreciar el aparejo del velero de la clase 12 metros *Seven Seas* amarrado en el puerto de Saint-Tropez durante la regata *Les Voiles 2017*. Está aparejado con un fraccionado de crucetas rectas y con dos violines, el primero en verde dando soporte transversal y el segundo en rojo ofreciendo soporte longitudinal al estay y transversal al conjunto.



Ilustración 20. Aparejo fraccionado con crucetas rectas y dos violines. Fuente: Propia

2.3.2 Diamantes

Los diamantes son denominados por la forma romboide que crea el conjunto de las crucetas y la jarcia. Es una estructura muy similar a los violines y utiliza el mismo principio. La diferencia principal recae en que este sistema se usa como aparejo principal, y no secundario o de soporte como en el caso anterior.

Los diamantes consisten en crucetas retrasadas donde el cable sale de un anclaje en el palo, pasa por el extremo de la cruceta y vuelve al palo. Creando una forma romboide y dotando a este de una rigidez propia evitando de esta manera el pandeo provocado por la compresión del perfil.

Se le colocan tantos pisos de crucetas como sea necesario, teniendo en cuenta que entre extremos de las crucetas no irá ningún cable, ya que no es necesario para la integridad del palo. Para mantener la estabilidad longitudinal y transversal, se utilizará el estay de proa y una serie de burdas fijas altas y bajas según la eslora del barco y altura del palo.

En la Ilustración 21 se puede observar resaltada en negro las tres estructuras de diamante que componen este aparejo y en rojo las burdas fijas altas y bajas que junto con el estay situado a proa acaban de dotar al aparejo de estabilidad.



Ilustración 21. Estructura de diamante con tres pisos de crucetas. Fuente: Propia

Este sistema es utilizado principalmente en catamaranes, ya que el disponer de una manga tan generosa permite este tipo de aparejos sin ninguna complicación. Los diamantes ejercen una función estructural para evitar el pandeo cuando se usan palos de una sección muy pequeña y flexible.

Ventajas

Al dotar de rigidez propia a los palos, estos pueden estar hechos con una sección más pequeña y más económica. Los catamaranes que disponen de diamantes suelen ser catamaranes de crucero con palos de aluminio, por lo que es una solución económica. Los palos de los catamaranes que no tienen diamantes son de secciones anchas, normalmente pivotantes y más caros debido a que son de materiales como el carbono.

Inconvenientes

Entre los inconvenientes señalar que añaden peso al aparejo en comparación a los palos sin diamantes y que en los puntos donde se cruzan los cables de diferentes diamantes, estos pueden rozar produciéndose daños en el cable.

2.3.3 Outriggers

En la navegación oceánica se buscan palos con una gran inercia lateral y longitudinal con el fin de evitar al máximo el pandeo y soportar las condiciones meteorológicas más adversas, pero lo más ligero posibles ya que cada kilogramo en el palo cuenta. Por ese motivo los palos oceánicos ideales están compuestos por un tubo muy ancho con una pared delgada.

Este diseño de sección tan ancha provoca grandes turbulencias a la vela mayor, debido a que el palo distorsionará el flujo de viento que recibe, con la correspondiente pérdida de rendimiento. Para salvar este problema, se diseñaron palos orientables, estos se orientan de manera que hacen de vela, por lo que no entorpecen el flujo del viento y el rendimiento de estos aparejos en barcos oceánicos es muy superior.

Para sujetar estos palos longitudinalmente se utiliza un estay y un estay intermedio que lo sujetan de proa y por popa consta de un backstay volante doble, marcado en negro en la Ilustración 22. Para permitir que la vela mayor de estos veleros pueda cambiar de banda, es necesario un backstay con la misma estructura que las burdas volantes, pero en este caso está anclado en la perilla del palo, se largará el backstay de sotavento y se mantendrá cazado el de barlovento.

Para la estabilidad transversal se usa el mismo sistema que se ha visto en la Ilustración 7, es decir un palo con suficiente inercia como para resistir al pandeo y no necesitar crucetas. El problema viene por las altas tensiones que han de aguantar estos barcos y la necesidad de reducir el peso del aparejo al mínimo. Esto provoca que colocar cables sobredimensionados hace aumentar el peso de la jarcia. Para solucionar este problema se optó por los *outriggers*.

Los *outriggers* se pueden definir como unas perchas situadas a la altura de cubierta que sobresalen de la borda del barco y con cierto ángulo de retraso, llegando a aumentar la manga hasta el doble de la original. De los extremos salen dos obenques, marcados de color rojo en la Ilustración 22, uno anclado al tope del palo y el otro en la mitad de este.

Con este sistema se consigue dar una estabilidad transversal y longitudinal total, al igual que una gran disminución del peso y un aumento del rendimiento.



Ilustración 22. Outriggers del Imoca 60 Safran. Fuente: Vincent Curutchet

Ventajas

Como se ha explicado antes este sistema ofrece numerables ventajas a la hora de mejorar el rendimiento de la mayor con vientos portantes, ya que se eliminan las turbulencias gracias a la posibilidad de orientar el palo, así como la disminución de peso gracias a la sección más ancha del perfil y a su pared más fina, así como la eliminación de gran número de elementos de la jarcia firme convencional como pueden ser crucetas o diagonales.

Inconvenientes

Como desventaja señalar la debilidad estructural de cara a colisiones que supone la colocación de los cadenotes en el exterior de la manga, esto provoca que sean susceptibles a daños debido a colisiones con objetos flotantes u otros barcos.

2.3.4 Deflectores

Se podría decir que los deflectores son una variante de las burdas convencionales. Este elemento móvil de la jarcia firme se ve con frecuencia en mega-yates y veleros de altas prestaciones.

Su función principal es la de dar tensión al estay y controlar la curvatura del perfil del palo en puntos donde se ancla algún estay intermedio. Principalmente están colocados en barcos que disponen de backstays dobles, pese que también se pueden colocar sobre las burdas. Estos sales en perpendicular del mástil y se conectan con el backstay o la burda según corresponda, este sistema permite reducir el

peso del aparejo, ya que se eliminan metros innecesarios de jarcia, proporciona una reducción de la resistencia al avance debido a que hay menos material expuesto al viento así como una reducción de la compresión sobre la estructura del casco.

Este sistema se puede regular mediante sistemas hidráulicos o manuales según el tipo de barco donde esté situado.

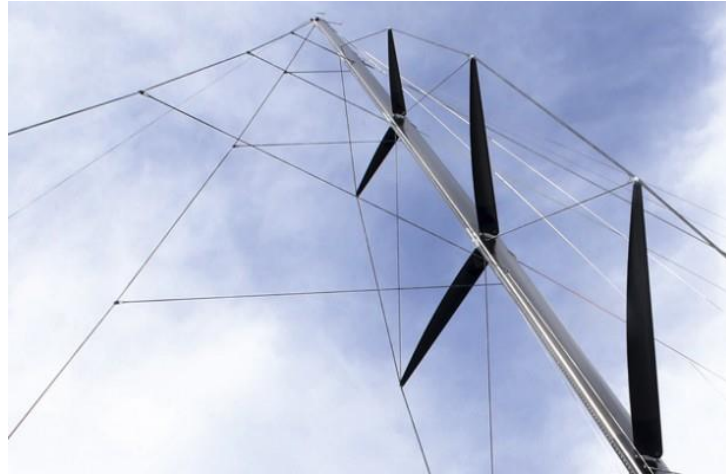


Ilustración 23. Deflectores en los backstays. Fuente: Crosbie Lorimer

Ventajas

Como se ha visto, las ventajas que proporciona son del ámbito de la reducción de peso, así como una disminución de la resistencia al avance. Otra de las ventajas es la posibilidad de dotar de rigidez a ciertas partes del palo, como puede ser el anclaje del estay, evitando que cuando se le da tensión, el estay tire del palo flexándolo en exceso.

Inconvenientes

Como desventaja señalar que solo se puede instalar en barcos que dispongan de un backstay doble, o en caso de tener un backstay simple, que el deflector de sotavento se pueda largar, como si de una burda volante se tratase.

Capítulo 3. Elementos y complementos de las jarcias en la actualidad

Cuando se habla de la jarcia fija, no hay que centrarse solamente en los cables que la componen y en diferentes aparejos que existen. Hay otros elementos con los que interactúan para formar la arboladura del velero. Estos elementos que se explicarán a continuación en algunos casos son muy obvios, en otros son muy específicos y menos comunes, ya que se usan para ajustar la jarcia o hacer un trimado muy fino.

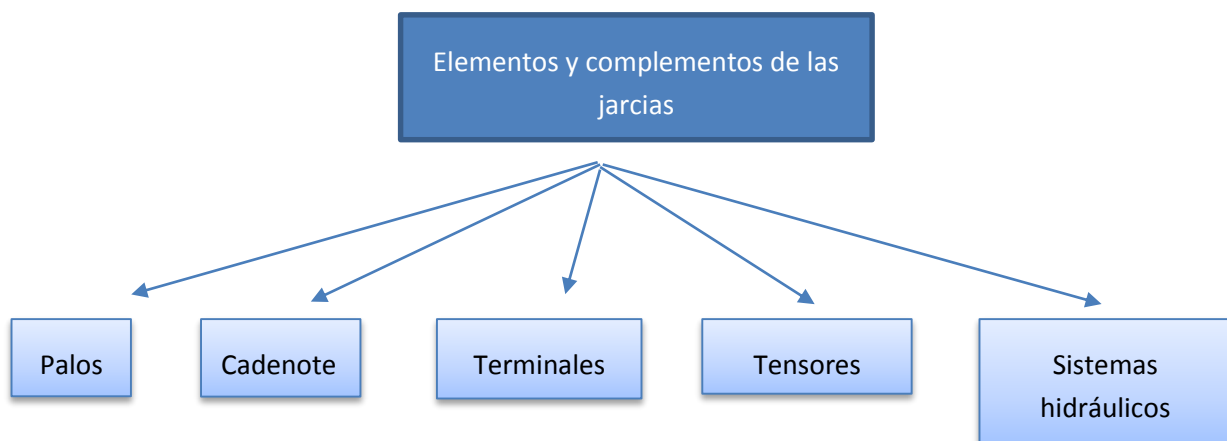


Ilustración 24. Esquema sobre elementos y complementos de la jarcia. Fuente: Propia

3.1 Palos

Es el elemento principal que forma la arboladura de los veleros y su sección, grosor del perfil y diseño varía según qué aparejo completa. El material del que están hechos es principalmente aluminio, debido a su facilidad de modelaje y la resistencia a la corrosión del medio marino. De todos modos, en los últimos años ha crecido la utilización de la fibra de carbono para la construcción de palos debido a las altas prestaciones que ofrece en cuanto a resistencias y sobretodo en ligereza.

La característica más importante durante el diseño de los palos es la resistencia al pandeo, esta depende de la sección que estos tengan. Se ha demostrado mediante el momento de inercias que la resistencia

de un tubo hueco es proporcional al espesor de la pared perfil y al diámetro de la sección, pero teniendo en cuenta que esta última influye más⁴.

Por este motivo nos encontramos que la sección de los palos es elíptica. La parte más estrecha de la elipse corresponde a la sección transversal, por lo tanto tenderá más a pandear, para evitarlo el palo dispone de las correspondientes crucetas que serán más numerosas en número cuanto más estrecho sea el palo. Por el contrario la parte ancha de la elipse corresponde a la sección longitudinal, por lo que el pandeo será inferior y se regulará/controlará mediante elementos tales como estay, backstay o burdas. Otra de las ventajas de la forma elíptica es la disminución de las turbulencias que le ocasiona a la vela mayor.

Como ya se ha visto, la sección de los palos dependerá del tipo de aparejo y navegación que se vaya a realizar.

- *Se dispondrá de una sección más ancha cuando se quiera una mayor inercia, resistencia al pandeo y ligereza, este se utilizará en barcos de navegación oceánica.*
- *Esta sección será inferior, con la correspondiente pérdida de inercia, un mayor pandeo y aumento de peso, en barcos donde se busque un mayor control sobre la forma del palo y una disminución de las turbulencias producidas sobre la mayor. Estos palos son los indicados para regatas de barlovento- sotavento.*
- *Por último se podría añadir una sección intermedia a estas dos últimas utilizada por los barcos de crucero, esta sería una mezcla, la cual resulta de gran comodidad para la navegación de recreo.*

Por último indicar que los palos pueden estar apoyados sobre cubierta, por lo que necesitarán un puntal interior que transmita los esfuerzos de compresión hasta la quilla y las cuadernas o pueden ser pasantes, estos últimos pasan a través de la cubierta por la fagonadura y se apoyan en la carlinga, que está situada directamente sobre la quilla.

3.2 Cadenotes

Es una parte estructural del casco, se encarga de recibir los esfuerzos de la jarcia y transmitirlos al casco. En cubierta se suele ver el principio del cadenote, donde se acopla la jarcia y luego este continúa dentro del barco. En el caso de los obenques coinciden con cuadernas maestras, con la roda en el caso del estay y en partes muy reforzadas estructuralmente en el caso de otros elementos de la jarcia firme.

⁴ Estructuras de acero. Cálculo plástico de secciones. Fuente: Universidad de Castilla la Mancha.



Ilustración 25. Cadenote del obenque. Fuente: Propia

En la Ilustración 25 se puede observar como el cadenote transmite la fuerza desde la cubierta hasta la cuaderna maestra situada en la parte inferior de la imagen, se aprecia como de la cuaderna sobresale una plancha de acero inoxidable, esta plancha, que está enfibrada junto con la cuaderna maestra, permite transmitir los esfuerzos al casco. Otra de las funciones es soportar y distribuir los esfuerzos de tracción y compresión en la mayor área posible, evitando de esta manera una deformación del casco.



Ilustración 26. Anclaje del cadenote en la cuaderna maestra. Fuente: Propia



Ilustración 27. Cuaderna maestra. Fuente: Propia

En la Ilustración 27 se puede observar la cuaderna maestra de un *TP52*, este caso los cadenotes están totalmente recubiertos por esta, por lo que solo sobresalen en cubierta. En la Ilustración 28 se pueden apreciar los refuerzos estructurales hechos en la roda para soportar los esfuerzos del estay y su tensor del *Maxi72 MOMO*.



Ilustración 28. Refuerzo estructural en la roda. Fuente: Propia

3.3 Terminales

Estos elementos, como su nombre indica son las terminaciones de los cables, estos hacen de unión entre los cables que componen la jarcia y diferentes elementos como el palo, tensores o cadenotes.

Existe una extensa variedad según sea su utilización y propósito. Cada terminal va adaptado a un tipo de jarcia en concreto por lo que tendrán diferente diseño y el tamaño variará en función de la carga que deba soportar.

La unión de estos terminales en el palo dependerá del material del que esté hecho este. En palos de aluminio los anclajes de los terminales pueden estar remachados y atornillados en el palo, como se puede ver en la Ilustración 29, o con un agujero, por lo que el terminal entrará dentro del palo y se quedará anclado en su interior.



Ilustración 29. Anclaje en un palo de aluminio. Fuente: Propia

Por otro lado, en palos hechos de fibra de carbono esta unión es más complicada, ya que el carbono es más delicado que el aluminio. Por este motivo es necesario distribuir la fuerza por más superficie de cara a prevenir sobreesfuerzos en zonas muy concretas. En la Ilustración 30 se aprecian las diferentes capas de carbono suplementarias situadas unas encima de las otras de manera que la fuerza que recibe el anclaje se reparta en una superficie mayor.



Ilustración 30. Anclaje en un palo de fibra de carbono. Fuente: Propia

Los modelos de terminal más comunes son los siguientes:

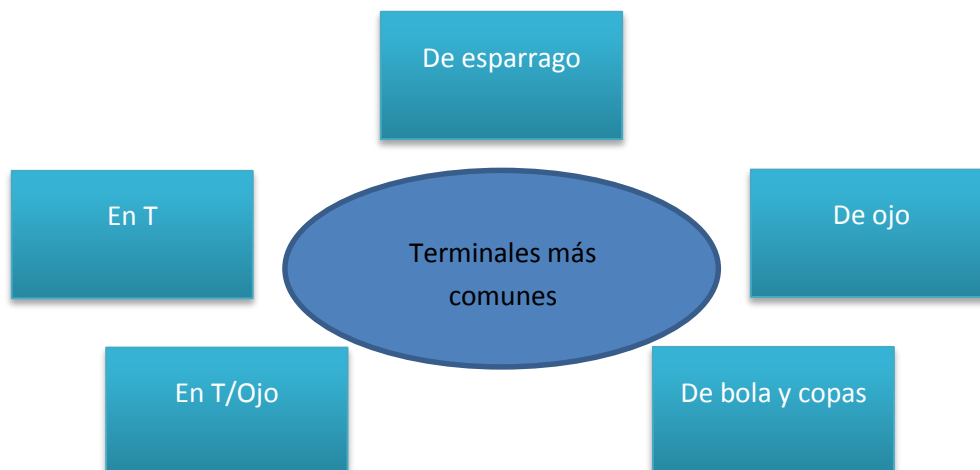


Ilustración 31. Esquema de tipos de terminales. Fuente: Propia

3.3.1 Terminales de esparrago

Se sitúa en el extremo inferior de los cables, es un macho con rosca, el cual se introduce en el tensor y se tensa toda la jarcia de una manera manual. Los hay de diferentes modelos y tipos según el tipo de material que componga la jarcia, el más común es el que se aprecia en la Ilustración 32.



Ilustración 32. Terminal de esparrago. Fuente: Propia

3.3.2 Terminales de ojo

Se sitúan tanto en la parte inferior como en la superior. Estos terminales son más comunes en la parte superior de la jarcia, ya que la jarcia se une con el anclaje del palo mediante un bulón, como se ve en la Ilustración 29. En cambio los situados en la parte inferior, como el de la Ilustración 33 se utilizan principalmente para hacer de unión entre la jarcia y distintos elementos móviles para dar tensión, como tensores de backstay o de burdas, que pueden ser manuales o hidráulicos; otra función es la de hacer de terminal final en la unión de la jarcia con los cadenotes o en las distintas uniones de la jarcia discontinua. Las uniones se efectúan mediante un bulón o una gaza, dependiendo donde se sitúe.



Ilustración 33. Terminal de ojo. Fuente: Propia

3.3.3 Terminales de bola y copa

Se trata de terminales que tienen su extremo redondeado, por lo que no pueden salir del anclaje ya que es de un diámetro inferior, estos constan de una especie de arandela con forma de semiesfera llamada copa que permita mayor libertad de movimiento minimizando el desgaste del terminal, como se aprecia en la Ilustración 34.

Su utilización más difundida se centra en las jarcias de varillas, así mismo también se utiliza en las jarcias de cable rígido, y en las de materiales compuestos. La utilización de estos terminales es debida a la poca resistencia a la torsión que tienen los cables donde se utilizan. Al tener forma de bola, permite a los cables que puedan girar libremente sin retorcerse.



Ilustración 34. Terminales de bolas. Fuente: Propia

3.3.4 Terminales en T

Es un terminal que acaba en forma de T tras doblarse unos 90° respecto el eje longitudinal, tal y como se aprecia en la Ilustración 35. Es utilizado en el anclaje de la jarcia en el palo, el terminal se introduce en el interior de este por una abertura y se gira 90° hasta quedar paralelo al palo. Es habitual en las jarcias de cable convencional debido a la simplicidad del mecanismo.



Ilustración 35. Terminal en T. Fuente: Propia

3.3.5 Terminales en T/ojo

Estos terminales son considerados como articulaciones, ya que se suelen emplear en la unión de burdas o estays intermedios textiles con el palo. El funcionamiento es igual al de los terminales en T explicados anteriormente, pero tienen la particularidad de finalizar con un ojo, el cual permite que se una la burda textil a él mediante una gaza.

Se utiliza este terminal debido a la versatilidad que tienen y el cierto grado de movimiento que permiten.

Para que el terminal no salte del anclaje durante ciertas maniobras o cuando la burda está destensada, se suele poner un tope de goma en el hueco que queda en el mástil.



Ilustración 36. Terminal en T/ojo. Fuente: Propia

3.4 Tensores

Los tensores son unos elementos fundamentales en el aparejo y, como su nombre indica, sirven para dar tensión a la jarcia. Esta tensión se consigue cambiando la longitud del tensor con lo que se modifica la longitud total de la jarcia imprimiendo una mayor o menor tensión ofreciendo el trimado deseado. En este apartado se analizarán dos tipos de tensores, los fijos, que no se pueden modificar bajo carga y los variables, donde sí se puede modificar su longitud bajo carga.

3.4.1 Tensores fijos

Se denominan tensores fijos aquellos donde no se puede modificar la tensión mientras se navega a vela debido a que al estar trabajando sería imposible desbloquearlo.

El funcionamiento clásico de un tensor fijo es mediante una pieza con dos roscas hembra, una a derechas y otra a izquierdas, que va acoplada a dos terminales de espárrago, uno sale del cable y el otro del cadenote. Este se enroscará y desenroscará, acercando los extremos de los dos espárragos y cambiando así su longitud. Para bloquear los tensores y que no se mueva, se utiliza una contra-tuerca en cada extremo o pasadores en los espárragos. En la Ilustración 37 se puede apreciar un tensor clásico con pasadores en los espárragos.

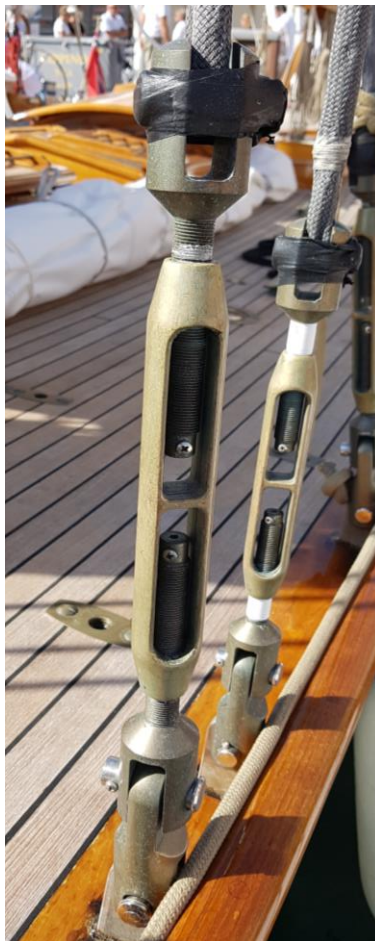


Ilustración 37. Tensor clásico. Fuente: Propia

El material del que suelen estar hechos de bronce marino cromado⁵, ya que es un material que resiste más a la corrosión del medio marino, así como a las altas temperaturas producidas por la fricción al tensarlos.

Pese a que la función y la base es la misma, existe una gran variedad de diseños y materiales empleados en la construcción de cara a mejorar las prestaciones. Al final se buscan materiales capaces de resistir cada vez mayores esfuerzos de tracción con un peso menor y una resistencia a la corrosión superior.

Por ejemplo, en la Ilustración 38 se puede apreciar el tensor del obenque alto i el del diagonal, más pequeño, del velero *Rainbow* de la *J-Class*. Estos tensores fijos están hechos de titanio, por lo que ofrecen unas prestaciones superiores en cuanto a ligereza, resistencia y durabilidad.



Ilustración 38. Tensor fijo. Fuente: Propia

Este funcionamiento clásico es el que existe en la mayoría de barcos de crucero. Se encuentra en los obenques; en los diagonales, en caso de jarcia discontinua y también es común en el backstay y, en algunos barcos, en el estay dependiendo del modelo de enrollador de que dispongan. Esta configuración de tensor igual en todos los cables es debido a que en barcos de crucero supone un ahorro económico importante. Estos son unos elementos que, debido al tipo de navegación que se realiza, no es necesario que sean móviles bajo carga.

⁵ Dato proporcionado por la empresa *Raymas*

En barcos de regata, solo se ponen tensores fijos en los obenques, diagonales y estay. Estos se regularán cada día antes de salir a la mar según las condiciones de mar y viento previstas. En caso de ser necesario modificar la longitud en navegación, los obenques se tocarán los de sotavento y el estay yendo de popa redonda. Es decir, solo se modificarán los tensores que no estén trabajando.

3.4.2 Tensores variables

En estos tensores, a diferencia de los anteriores, sí que se puede modificar la longitud durante la navegación a vela sin la necesidad de tomar medidas extraordinarias para que no trabajen. Principalmente se encuentran en el backstay, ya que requiere grandes variaciones de la longitud de cara a trimar el palo correctamente, pero también se encuentra en estays.

Tensores variables en el backstay

En el caso del backstay, el funcionamiento de estos tensores es mediante un pistón que puede ser accionado de manera manual o hidráulica, así como mediante una reducción con polipastos, como se aprecia en la Tabla 5.




		
<p>Ilustración 39. Tensor manual mecánico. Fuente: Propia</p>	<p>Ilustración 40. Tensor manual con polipastos. Fuente: Propia</p>	<p>Ilustración 41. Tensor hidráulico. Fuente: Propia</p>

Tabla 5. Comparación tensores de backstay. Fuente: Propia

El tipo de tensor utilizado para el backstay variará principalmente por el tipo de barco y navegación que se vaya a efectuar. Por ejemplo, en barcos de regatas, donde la regulación del backstay se realiza continuamente y se pueden llegar a necesitar grandes cargas, se utilizan tensores de tipo hidráulico o manuales con sistema de poleas, como se aprecia en la Ilustración 40 e Ilustración 41, ya que son mucho más rápidos y eficaces.

En cruceros, el backstay es una parte bastante fija y en la mayoría de los casos se regula poco o muy poco, por este motivo, cuando se usan tensores de longitud variable, se suele usar tensores manuales, como se muestran en la Ilustración 39, ya que son más económicos que un hidráulico y necesitan un mantenimiento inferior a un sistema de poleas.

Por último, en mega yates los tensores de backstay que se utilizan son hidráulicos, como el mostrado en la Ilustración 41, esto es debido a las grandes cargas y tensiones con las que se trabaja, lo que hace indispensable la utilización de mecanismos hidráulicos, un sistema manual sería imposible de hacer funcionar y un sistema de polipastos necesitaría unas desmultiplicaciones exageradas.

Tensores variables en el estay

Como se ha visto y explicado en capítulos anteriores, la tensión del estay se puede regular fácilmente mediante el backstay en barcos con aparejo a tope de palo y con las burdas en fraccionados con crucetas rectas. El problema residía en tensionar el estay en un aparejo fraccionado con crucetas retrasadas. En estos aparejos la tensión del estay era muy difícil de controlar totalmente, por lo que se navegaba y regulaba según la experiencia, no según las necesidades.

En barcos de regatas de altas prestaciones, navegar sin la tensión del estay pertinente hace perder rendimiento, por lo que no es una opción. Para satisfacer esta necesidad se utilizan tensores hidráulicos de estay situados por debajo de cubierta, proporcionando la tensión deseada en cada momento.

En la Ilustración 42 se puede observar el tensor hidráulico del *Maxi72 Momo*. Con la letra A está marcada la unión del estay, con el tensor y con la letra B se ve el pistón hidráulico sobresaliendo por la parte inferior. Por último, con la letra C, se puede apreciar un pistón hidráulico de menor tamaño. Este tensor es utilizado para dar tensión al puño de amura del foque. Como se puede apreciar, al dar tensión al estay también se tensiona el puño de amura, por lo que este pistón secundario permite variar dicha tensión



Ilustración 42. Tensor hidráulico de estay. Fuente: Propia

3.5 Sistemas hidráulicos

Estos sistemas hidráulicos se utilizan para dar tensión a la jarcia transversal. En barcos de regatas y de grandes esloras, la utilización de tensores resulta poco útil, ya que se necesitan unas tensiones que si se quisieran dar mediante los tensores fijos, la rosca de griparía o se producirían fisuras del material debido a una fricción excesiva. Para prevenir esto, en lugar de apretar la jarcia, se aprieta el palo, es decir se elevará el palo tensando como resultante toda la jarcia sin tener que modificar la longitud de la jarcia.

Este sistema solo es posible si se dispone de un o unos cilindros hidráulicos accionados por un gato hidráulico que se colocan dentro o a cada lado del palo y transmitirán la fuerza a un eje que atraviesa la cox del palo, como se aprecia en la Ilustración 43. Se le da tensión de manera controlada por un manómetro y cuando este esté a la tensión deseada se colocaran unas placas de diferentes grosores y

que soportarán la presión del palo con la tensión deseada, liberando de esta manera los cilindros hidráulicos. Estas placas se pueden ver en la Ilustración 44 y en la Ilustración 45, se aprecian los diferentes grosores que existen. Como se aprecia primero se gastan las placas de mayor grosor y finalmente las más finas para hacer un ajuste más exacto.



Ilustración 43. Cilindro hidráulico a estribor del palo. Fuente: Propia



Ilustración 44. Placas situadas entre la carlinga y la coz. Fuente: Propia



Ilustración 45. Placas para elevar el palo. Fuente: Propia

Capítulo 4. Parámetros y factores de la jarcia firme en la actualidad

En este capítulo se analizarán los diferentes parámetros que han de satisfacer las jarcias y como variaran según el material y la composición de que estén hechas, también se expondrán los factores más decisivos a la hora de decidirse por uno u otro tipo de jarcia según sean las necesidades concretas de cada tipo de barco y navegación entre otros.

Los diferentes materiales con los que se pueden confeccionar las jarcias deben satisfacer una serie de parámetros para poder ser usados como jarcia y posteriormente se elegirán en función de una serie de factores que se verán a continuación

4.1 Parámetros físicos de los materiales

A la hora de diseñar una jarcia utilizando nuevos materiales y composiciones, estos han de satisfacer diferentes parámetros, para ello se analizan e investigan las propiedades que ofrece cada uno de ellos hasta conseguir el producto final.

Los parámetros que se tienen en cuenta son los siguientes:



Ilustración 46. Esquema de los parámetros físicos. Fuente: Propia

4.1.1 Resistencia a la tracción

Se entiende por tracción el esfuerzo interno al que está sometido un cuerpo, al cual se le aplican dos fuerzas lineales en sentido opuesto que tienden a estirarlo, es decir que por resistencia a la tracción se entiende la carga o tensión que resiste el material antes de que se deforme permanentemente o se rompa por fracturación extensional. Este término también es conocido como carga de rotura.

Para satisfacer este parámetro es importante la utilización de materiales con un alto grado de coherencia, pero que a su vez no sean frágiles, ya que estallarían.

El factor de seguridad mínimo con el que se trabaja en náutica es de 2:1, por lo que para obtener la carga de trabajo de dicho material habría que dividir la carga de rotura entre dos. De cara a dejar cierto margen de seguridad y pese a que se podría llegar al 100% de la carga de trabajo sin suponer ningún sobreesfuerzo, las jarcias suelen trabajar entre un 15 y un 40% de la carga de rotura del material⁶, dependiendo de qué cable se trate.

La carga de rotura dependerá del diámetro de la jarcia, del material del que está hecha, así como la composición que se le da a dicho material para formar los cables de la jarcia. Esto se traduce en que según el tipo de composición, para un mismo diámetro y material existan diferentes cargas de rotura, como se puede observar en la Tabla 6. Es esta tabla se comparan 5 tipos de material diferentes, tres de estos materiales son jarcias metálicas: cable rígido, compact Strand y varilla; los otros dos materiales son textiles y son dos variables del Dyneema: el SK75 y el DM20 de mayor calidad que el anterior.

El valor que aparece en rojo corresponde a la carga de rotura interpolada del Dyneema SK75 para diámetro de 7 mm, ya que no es un diámetro que se fabrique comúnmente.

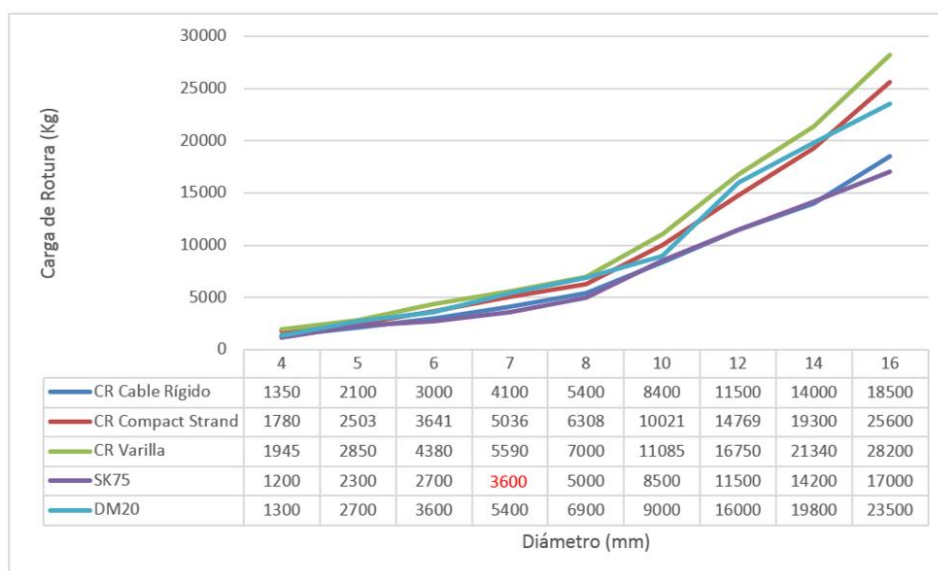


Tabla 6. Comparación de Cargas de Rotura según composición, diámetro y material. Fuente: Propia⁷

⁶ Dato extraído del manual de SELDEN *Consejos y Asesoramiento*. Capítulo *Trimado por seguridad*.

⁷ Datos extraídos de la empresa *Yacht Riggers Mallorca, BSI Rigging y Dynamica Ropes*. Tablas en el Anexo A1.1 y A1.2

Como se puede observar, en la comparación concreta de estos 5 materiales el que ofrece mejores propiedades respecto a la carga de rotura es la jarcia de varilla, mientras que el segundo puesto está ocupado por la jarcia metálica de compact Strand y la de Dyneema DM20. Finalmente estarían las jarcias de cable rígido y de Dyneema SK75 que cerrarían la clasificación.

4.1.2 Elasticidad

Entendemos por elasticidad la relación entre las fuerzas aplicadas a un cuerpo y la correspondiente deformación que sufre; esta deformación desaparecerá, volviendo el objeto a su estado original cuando se deje de aplicar dicha fuerza. Para estudiar la elasticidad se confecciona la curva de esfuerzo-deformación de cada material.

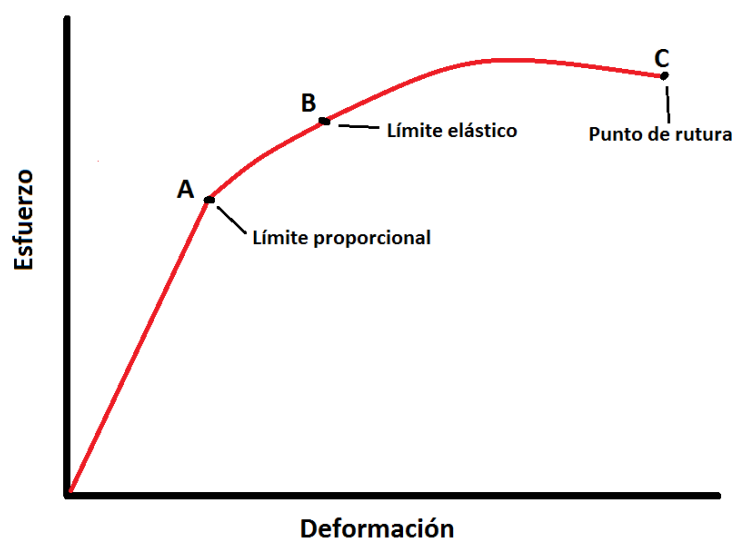


Ilustración 47. Curva de Esfuerzo/Deformación. Fuente: Propia

En la Ilustración 47 se puede apreciar que cuando se aplica un esfuerzo a un objeto, este sufre un comportamiento perfectamente elástico del punto inicial hasta el punto A, en este tramo se da una elasticidad proporcional al esfuerzo aplicado y una vez que el esfuerzo desaparece, el objeto volverá a su tamaño original.

Si se continúa aplicando y aumentando dicho esfuerzo, pasando del punto A al B, el objeto sufrirá una deformación elástica, pero esta no será proporcional, ya que la deformación aumentará más que el esfuerzo aplicado.

El punto B es el llamado límite elástico, este límite es el esfuerzo máximo que un objeto puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes.

Una vez sobrepasado el punto B, el objeto experimentará un comportamiento plástico y la deformación será permanente, no volverá a su forma original de manera espontánea si se retira la tensión sobre él. Esta deformación tampoco será lineal, y aumentará más que la tensión aplicada.

Finalmente, una vez se llega al punto C, el objeto se romperá. EL punto C se considera la Carga de Rotura del material.

Hay que tener en cuenta que cuanto más elástica sea una jarcia, más deformaciones podrá sufrir sin que se alteren las propiedades elásticas. Es decir, que tardará más en aparecer la fatiga elástica y su vida útil será mayor.

Por contra, una jarcia elástica hace perder una función esencial de estas, mantener el palo en su sitio con el trimado deseado. Para satisfacerlo, se han diseñado jarcias con un límite elástico cada vez mayor, esto permite que las jarcias no se tengan que sobre tensar para proveer una rigidez general adecuada, pero sufren mucho de fatiga, por lo que su vida útil se reduce.

Para indicar la elasticidad de un producto se utiliza el límite elástico. Se indica en que tensión aparece mediante el porcentaje de la tensión total aplicable, teniendo en cuenta que el 100% es la carga de rotura del material. Por ejemplo, para la jarcia de varilla el Límite Elástico está entre el 80-85% de la Carga de Rotura⁸. Esto se traduce en que se le puede aplicar una mayor tensión al producto sin llegar al límite elástico, por lo que se fatiga menos el material.

4.1.3 Peso

El peso es un factor muy importante a tener en cuenta, ya que al estar situado por encima del metacentro, este influye aumentando drásticamente el centro de gravedad y, por consiguiente, el par escorante. Para compensarlo es necesario aumentar el par adrizante, es decir, disminuir el centro de gravedad.

En la Tabla 7 se observa una drástica diferencia de peso entre dos materiales como puede ser el kevlar y el acero inoxidable, así como la diferencia de peso de la jarcia usando el mismo material, pero con una composición del cable diferente.

Debido a su situación en el aparejo, el peso de la jarcia indirectamente supone un porcentaje alto en el total del barco con lo que se mejorará notablemente el rendimiento de este. El principal beneficio aparente de reducir el peso de la jarcia es que se reduce aún más el peso total del barco. Comúnmente se dice que cada quilo aligerado en el aparejo equivale a unos 5 quilos en la orza o unos 3-4 quilos en la banda⁹. Está claro que esta regla variará en función de la configuración del barco y del par de adrizamiento.

En cuanto a los movimientos de inercia, el más acusado es el cabeceo. Cuanto mayor es el peso en los extremos del barco, mayor es el momento de cabeceo, es decir, tiene más tendencia a hundirse en una ola y elevar la proa exageradamente en la siguiente, perdiendo velocidad como resultado.

La fórmula para calcular el momento de cabeceo es la siguiente¹⁰:

$$\text{Momento de cabeceo} = p * h^2$$

⁸ Dato extraído de la empresa BSI Rigging

⁹ Regla dada por *Powerlite PBO Rigging*

¹⁰ Dato extraído del *Curso Técnico de North Sails* de 1981

En esta fórmula se entenderá por p el peso del objeto medido en kilogramos, y por h la altura del objeto respecto del centro de cabeceo de la embarcación. Por esta fórmula se ve como un objeto de solamente 0.3 Kg, como puede ser un grillete, situados a 16 metros del centro de giro, contribuye en casi $77 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$ al dicho momento.

Con el ejemplo anterior es fácil entender la importancia de la reducción de peso en el aparejo. En la Tabla 7 se puede ver como varía el peso de la jarcia según sea el material y composición de esta. En esta tabla se puede apreciar como la diferencia entre pesos de las jarcias metálicas es bastante similar, siendo más pesada la de varilla, pero en cuanto se cambia a jarcias textiles como el Dyneema DM20 el peso cae drásticamente a valores muy bajos.

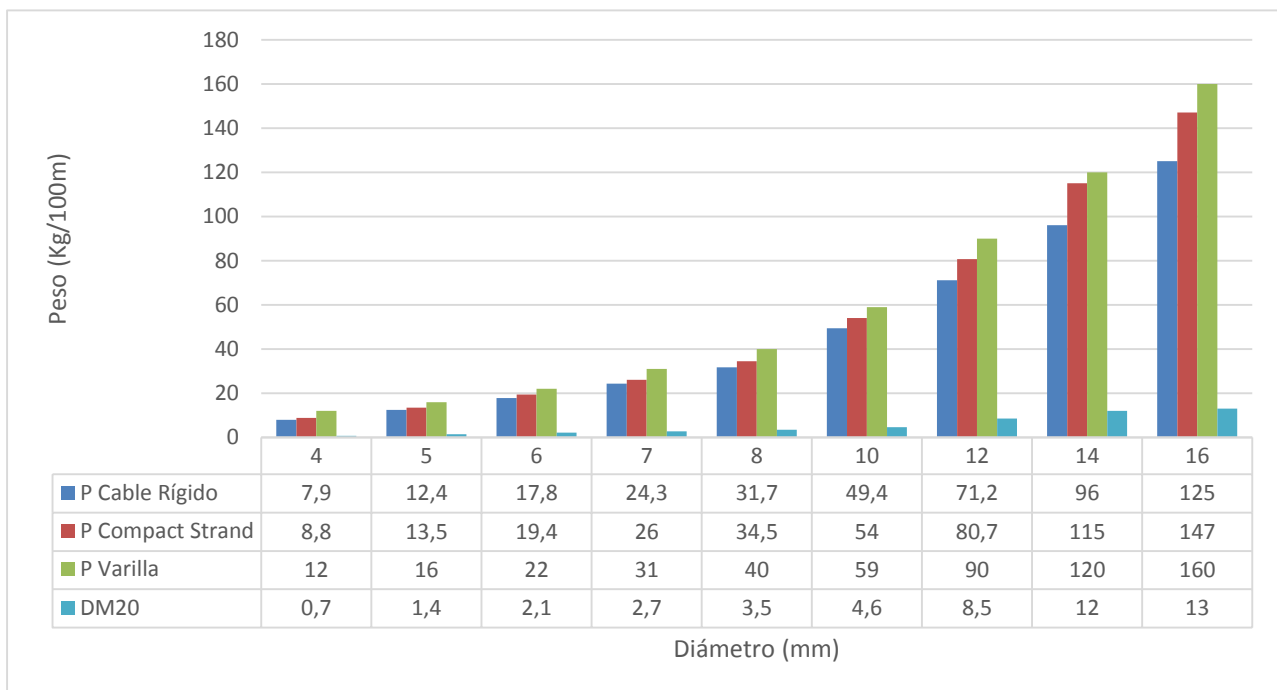


Tabla 7. Comparación del peso de 100 metros de jarcia según composición, diámetro y material. Fuente: Propia¹¹

La reducción del peso de la jarcia no solamente repercute en una disminución del peso total del barco, sino que desemboca en un centro de gravedad vertical (VGC) más bajo, lo que afecta directamente a la respuesta en maniobra, estabilidad y una reducción de los movimientos dinámicos.

- *Respuesta en maniobra: Un centro de gravedad inferior reduce las fuerzas necesarias para cambiar el rumbo y aumenta la velocidad durante las viradas o trasluchadas. Además, una posición más vertical reduce la distancia que el aparejo debe de recorrer para ir de un bordo al otro, con lo que se obtiene un velero más suave y ágil.*

¹¹ Datos extraídos de la empresa *Yacht Riggers Mallorca, BSI Rigging y Dynamica Ropes*. Tablas en el Anexo A1.1 y A1.2

- *Estabilidad: Cuando se baja el VGC, este afecta directamente al par de adrizamiento, con lo que se necesita una cantidad menor de lastre para mantener el mismo par.*
- *Reducción de movimientos dinámicos: Esta disminución del VGC también reduce el cabeceo y el balanceo. La reducción de movimientos dinámicos permite que mayor cantidad de energía sea transmitida hacia delante, con lo que se aumenta la eficiencia del barco. Así mismo, en navegación con mal tiempo se producen momentos de inercia que llegan a ser muy acusados y un pantocazo puede suponer un aumento repentino de las tensiones en la jarcia que puede repercutir en una desarboladura. Con jarcias más ligeras estos momentos de inercia se reducen.*

4.1.4 Duración en el tiempo

Debido a que las jarcias trabajan continuamente, en mayor o menor medida, y que están siempre a la intemperie sufren mucho el paso del tiempo y por eso se deben cambiar regularmente. Hay que tener en cuenta que cada material se comporta de una manera diferente a las diversas situaciones que ha de afrontar, por lo que cada fabricante dará unas pautas para su sustitución y revisión.

Cuanto más específico es un material de altas prestaciones, las compañías ofrecen tiempos de revisión más continuos y detallados. Esto es debido a que son jarcias que sus características hacen que se puedan dañar con relativa facilidad si no se lleva el mantenimiento y cuidado necesario.

Hay dos factores principales que hacen disminuir la vida útil de las jarcias.

4.1.4.1 Inclemencias meteorológicas

Las jarcias se encuentran en uno de los medios más corrosivos que existen, el medio marino. Al estar expuestas continuamente a este medio se produce un desgaste continuo.

En materiales como el acero inoxidable la sal se introduce entre los diferentes hilos que componen el cable depositándose en el interior. Especialmente ataca los terminales ya que aparecen marcas de óxido que lo debilita poco a poco.

Por otro lado tenemos el sol, este afecta a materiales composite como puede ser el Kevlar. El cual si no se protege correctamente de los rayos UV puede debilitarse de forma muy rápida. Pese a que se protege debidamente, la vida útil es relativamente corta.

4.1.4.2 Abrasión

Se entiende por abrasión el efecto de desgaste producido por la fricción con otros elementos del aparejo. En las jarcias la abrasión es el principal problema al que han de hacer frente, ya que no se encuentran aisladas, por lo que sufren continuamente golpes producidos por elementos de maniobra y sobretodo el roce de las escotas. Debido a esta fricción se pueden producir daños que en según qué elementos es mortal, principalmente en composites como el carbono, por lo que se deben proteger de la mejor manera posible.

En jarcias metálicas es menos común, pero también sucede desgastes debidos a la fricción, como se puede apreciar en la Ilustración 48, en esta fotografía se puede apreciar el desgaste sufrido por un cable de la jarcia al estar en continuo contacto con otro cable del aparejo sin la correspondiente protección.

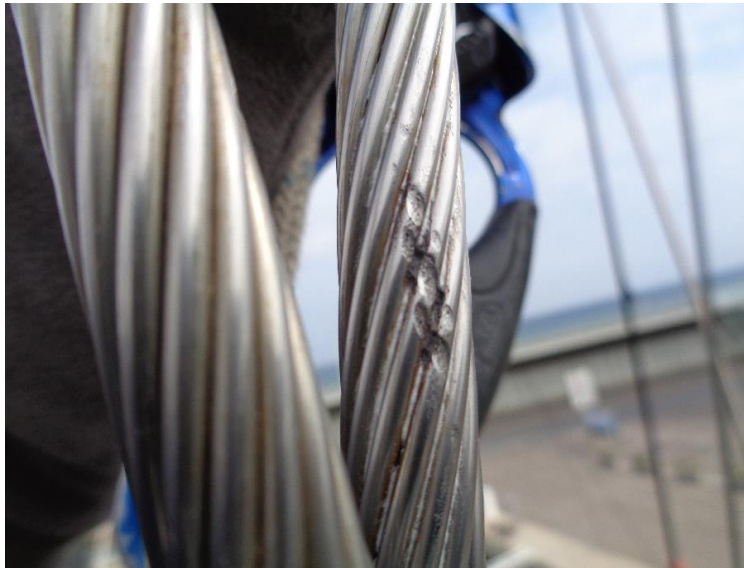


Ilustración 48. Abrasión producida en un cable de Acero Inoxidable. Fuente: Jordi Pujol

4.2 Factores a tener en cuenta para la elección de la jarcia

A la hora de decidir poner un tipo u otro de jarcia vendrá en función de diversos factores, hay que sacarle el máximo rendimiento al barco pero sin derrochar.

Los factores en que se debe basar la elección son por encima de todo personales, ya que a groso modo y salvo pequeñas excepciones se puede poner cualquier jarcia en cualquier barco. Pero, de cara a hacer una pequeña guía, en este apartado se darán consejos sobre que jarcia es la indicada para cada tipo de factor y así facilitar la elección de la jarcia.

La elección se debe basar principalmente en los siguientes factores:

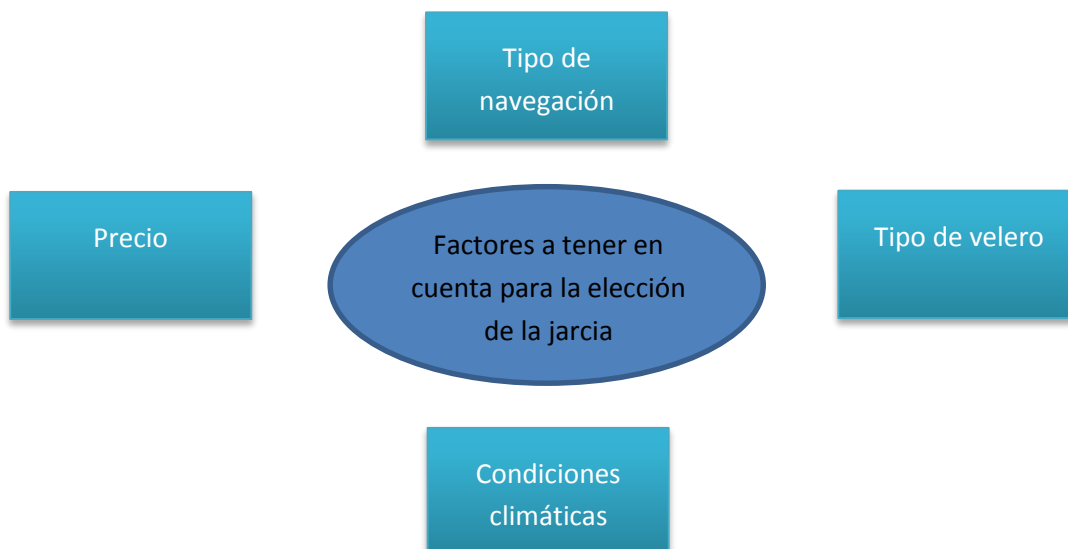


Ilustración 49. Esquema sobre factores a tener en cuenta. Fuente: Propia

4.2.1 Tipo de navegación

Según el tipo de navegación se pueden dividir en dos grandes grupos, estos serán: navegación de crucero y de regatas. Obviamente dentro de cada grupo existe gran variedad de subgrupos, en el caso de navegación de crucero se hablará de cruceros y de cruceros que realizan algunas regatas; por el otro lado en regatas se subdividirá en regatas amateurs y en regatas a nivel profesional.

De cara a elegir una jarcia hay que tener presente las cualidades que se buscan en el producto acorde a la utilización que vamos a hacer. En este factor se verá la cantidad de millas que se estima hacer, en qué condiciones climáticas y que rendimiento se espera de ellas.

Hoy en día hay una variedad extensa de materiales que se adaptan a todo tipo de navegaciones y hay que saber cuál conviene. No se utiliza el mismo tipo de jarcia en navegación costera durante los meses de verano, que en navegaciones transoceánicas en competición, las características en cada caso difieren mucho y hay que adaptarse a ellas. En el primer caso se buscan sobre todo cualidades como la larga vida útil, mientras en el segundo se antepone la resistencia y el peso.

4.2.2 Tipo de velero

Al igual que con el tipo de navegación, el tipo de barco también influye muchísimo en esta decisión. No todos los barcos están contruidos para aguantar cualquier tipo de jarcia. En este sentido es altamente recomendable seguir las prescripciones del astillero, normalmente en barcos de crucero se construyen pensados para jarcias elásticas con una vida útil muy larga y con un peso superior. Por este motivo, aunque a priori parezca que es buena idea poner una jarcia poco elástica en cualquier barco, hay que tener presente que toda la fuerza que no absorbe la jarcia mediante una elongación elástica, se transmitirá directamente a los cadenotes y cuadernas. Esta sobretensión puede provocar que, en barcos de crucero modificados para regatas, si no se refuerzan ciertas partes estructurales, se den daños estructurales. Uno de los daños más comunes es la separación de la unión casco-cubierta a la altura del cadenote, con la correspondiente filtración de agua en condiciones de viento y mar adversas.

Por otro lado, en barcos de regatas, donde mantener el trimado deseado en cualquier condición de mar y viento es esencial, las prestaciones que se deben satisfacer es una elongación mínima. De cara a soportar y absorber estos esfuerzos, están reforzados estructuralmente.

En veleros donde se realizan cambios de aparejos y jarcias es fácil observar como estos barcos se revisan estructuralmente en el astillero para comprobar que se puedan resistir las nuevas tensiones e incluso en casos extremos se llegan a modificar estructuralmente si se hace un cambio notable del aparejo. En la Ilustración 50 se aprecia la modificación estructural realizada en el Supermaxi CQS, los cadenotes de este velero se reforzaron y movieron al exterior para poder soportar un aparejo diferente al original.



Ilustración 50. Supermaxi CQS. Fuente: Richard Gladwell.

4.2.3 Condiciones climáticas

Aunque en un principio este tema no se plantea a la hora de comprar una jarcia, los fabricantes advierten que la expectativa de vida del cable no se basa únicamente y exclusivamente en parámetros como el número de millas navegadas o en las condiciones en que se hace. También hay que tener en cuenta en que situación geográfica se encuentra el barco. Los parámetros que más afectan son: la salinidad del agua, la temperatura y la contaminación atmosférica.

Así por ejemplo, en jarcia de cable de acero inoxidable, en zonas geográficas del entorno del Mediterráneo y el Caribe la esperanza certificada es de hasta unos 10 años debido a las altas temperaturas y salinidad elevada del mar. En situaciones medias de salinidad y temperaturas, como puede ser la costa Este y Oeste de los EEUU, la esperanza se alarga hasta los 15 años. Por último en los climas fríos, donde la salinidad es inferior la vida útil puede llegar hasta los 20 años¹².

4.2.4 Presupuesto

El presupuesto que se tiene para la jarcia marcará el material límite al que se puede llegar. Este factor se tiene muy en cuenta, ya que los precios sufren unos aumentos exponenciales en cuanto se modifican las prestaciones y materiales, los precios irán en función del material que se use y la tecnología utilizada durante la fabricación y diseño de las jarcias. En la Tabla 8 se puede ver una comparación de los diferentes precios, obtenidos en 2018, que supone el metro de cada uno de los diferentes materiales de las jarcias metálicas. Se comparan las jarcias de cable rígido, compact strand y varilla. Como se observa el precio de la jarcia compact strand es casi el doble que la de cable rígido y la de varilla llega a casi

¹² Dato proporcionado por *Sailing Solutions*, centro de Servicio autorizado de *BSI*.

cuadruplicar el precio de esta última, quedando evidente el aumento exponencial que se da en el precio de las jarcias.

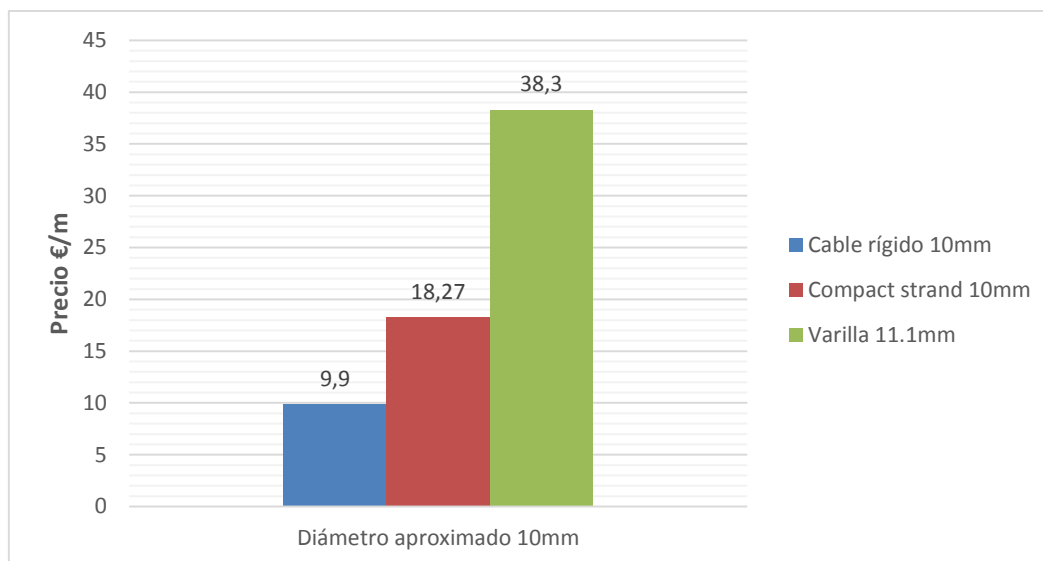


Tabla 8. Comparativa de precios de jarcias metálicas a 2018. Fuente: Propia

El factor económico es el motivo principal por el cual la mayoría de veleros de crucero llevan jarcia de cable convencional. Esto les garantiza que a un precio inferior, tendrán una garantía de fabricante de 10-12 años, la cual muchos de los armadores alargan por no considerar que esté en condición de cambiarse, con los consecuentes problemas que puede ocasionar.

En la otra parte del tablero tenemos los grandes equipos de regatas, donde se invierten grandes cantidades de dinero en productos que aumenten el potencial del barco. Como ya se ha comentado, la propiedad que menos se mira en estos casos es la vida útil, ya que se revisa continuamente y para no perder propiedades se cambia cuando marcan los fabricantes.

4.3 Propiedades de la jarcia según tipo de barco y navegación

Para sintetizar esta información sobre parámetros y factores a tener en cuenta, se ha realizado la Tabla 9, donde se mira de forma general que cualidades se busca según el tipo de navegación que tiene cada uno de los cuatro grupos en que se han dividido los veleros.

Tipo de barco	Tipo de navegación	Propiedades que se buscan
Crucero	Barcos que realizan navegaciones recreativas, estas se concentran en los fines de semana y en la temporada estival. Las navegaciones se realizan con un estado de la mar y viento bonancible, salvo pequeñas excepciones. Son barcos con un trapo dimensionado para ofrecer una navegación cómoda y sencilla.	<ul style="list-style-type: none"> • Carga de trabajo baja • Elasticidad de cara a absorber la tensión • El peso no se tiene en cuenta • Larga duración • Precio económico • Poco o nulo mantenimiento

<p>Crucero-regatas</p>	<p>Barcos a vela fabricados en serie, diseñados tanto para ser cómodos como cruceros pero sin dejar de lado las prestaciones para ser competitivos durante las regatas. Por lo general, las navegaciones se realizan los fines de semana durante el año en unas condiciones de viento que no llegan a ser severas y como cruceros durante la época estival. En estos barcos la vela tiene una superficie mayor que en el caso anterior, pero sin llegar a ser un estorbo para la comodidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas de trabajo medias • Elasticidad media, ya que están más reforzados • El peso se sigue sin tener en cuenta • Larga duración • Precio económico • Poco o nulo mantenimiento
<p>Regatas inshore</p>	<p>Suelen ser barcos a vela de tipo crucero-regata que han sido modificados para dedicarse única y exclusivamente a las regatas. Estos cuentan con interiores austeros y livianos, cubiertas sin comodidades, así como aparejos modificados para disponer de una mayor superficie vélica. Durante la navegación se aprietan al máximo para sacarles todo el rendimiento posible. Navegan en condiciones que por lo general no llegan a ser severas ya que las regatas con mal estado de la mar y viento se anulan.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas de trabajo medias-altas • Se busca poca elasticidad para conseguir palos que aguanten el trimado • El peso se tiene en cuenta • Duración media • Precio estándar, sin llegar a altos precios • Poco mantenimiento
<p>Regatas offshore</p>	<p>Son barcos a vela diseñados y pensados exclusivamente para realizar regatas. Estos no tienen ninguna comodidad interior y cuentan con refuerzos estructurales para soportar aparejos con una considerable superficie vélica en cualquier condición. Navegan en cualquier condición de mar y viento, ya que muchos de ellos son barcos destinados a hacer regatas transoceánicas, por lo que han de soportar todos los mares y vientos. Siempre son apretados al máximo posible con la fatiga en el material que eso supone</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas de trabajo altas y continuadas • Se busca la máxima rigidez posible para mantener el trimado • Jarcias lo más ligeras posible para mejorar la estabilidad • Duración media-baja • Precio alto, ya que son jarcias hechas específicamente para un barco concreto • Mucho mantenimiento para revisar el estado antes y después de cada regata

Tabla 9. Comparativa entre tipos de navegación y características de la jarcia buscadas. Fuente: Propia

Capítulo 5. Materiales de la jarcia firme en la actualidad

En este capítulo se hablará de los materiales que se utilizan en la confección de jarcias y como han evolucionado en los últimos años. También se analizará porque siguen conviviendo materiales que datan de principios del siglo XX, como el acero inoxidable, con otros de última generación pese a los grandes avances que se han producido en este sector.

Esta convivencia es debida a las propiedades que aporta cada producto, ya que permite satisfacer las necesidades de cada velero. Cada tipo de jarcia tiene sus características con lo que es un sector muy bien adaptado al mercado, así como en continuo avance para ofrecer mejoras en los productos de cara a la especialización.

Se empezará analizando las jarcias más básicas hasta llegar finalmente a las más especializadas, de cada una de ellas se hablará de sus características, métodos de construcción, así como de sus ventajas e inconvenientes.

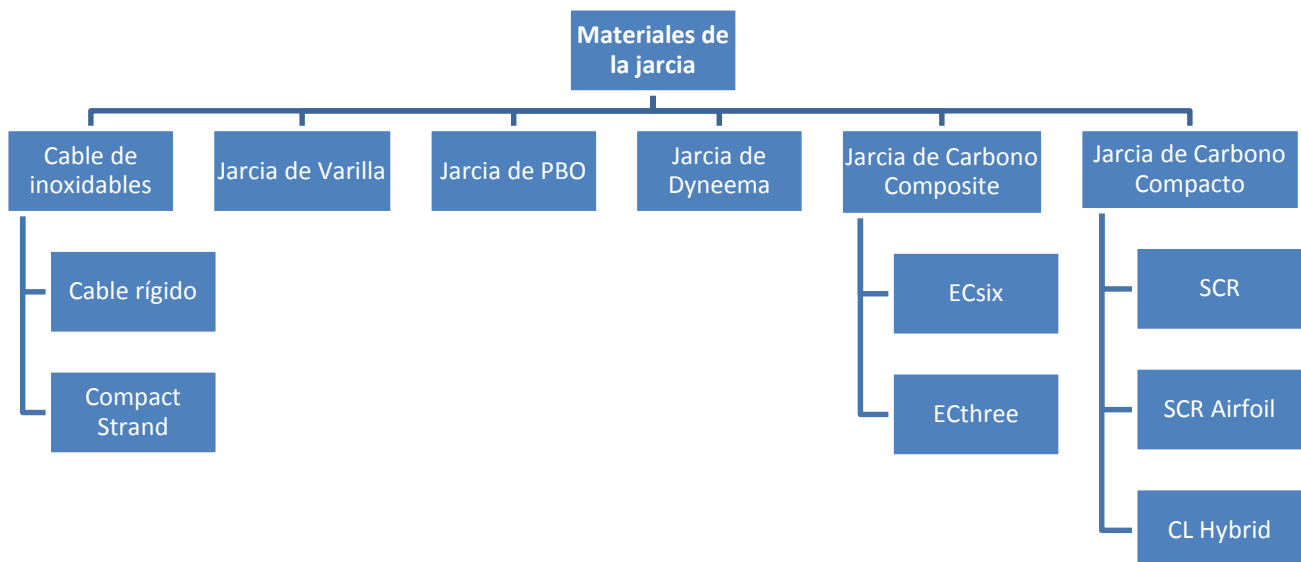


Ilustración 51. Materiales de las jarcias en la actualidad. Fuente: Propia

5.1 Cables de Inoxidable

El acero inoxidable se creó a principios del siglo XX, se trata de una aleación de acero que contiene un porcentaje de cromo que puede variar según el fabricante, suele estar entre un 10.5 y un 12%¹³. Esto es debido a que el cromo posee gran afinidad electrónica por el oxígeno, y reacciona con el formando una capa pasivadora de óxido de cromo que evita la corrosión del hierro.

Existen numerosos tipos de acero inoxidable, pero el que se utiliza en la elaboración de jarcias es el AISI 316, este es un metal no magnético al que se le ha añadido molibdeno para aumentar la resistencia a la corrosión en entornos que contienen cloruros, componente principal de la sal común (Cloruro de sodio); su utilización se debe a la alta resistencia a la corrosión localizada en el ambiente marino.

Este tipo de jarcia se mide según el diámetro en milímetros y la longitud en metros. En la carga de rotura que viene de fábrica ya está incluido el factor de seguridad aplicado, en el caso de la náutica este factor es de 2:1.

5.1.1 Cable rígido

Es el cable convencional, está formado por 19 hilos de igual diámetro, los cuales están torsionados entre sí formando una estructura en espiral llamada 1x19. Está compuesto por un hilo central, alrededor del cual se sitúan 6 hilos más de igual diámetro y la capa final está compuesta por 12 hilos del mismo diámetro. En la Ilustración 52 se observa un cable rígido de 14mm de diámetro con torsión a derechas. En la Ilustración 53 se puede ver la sección transversal de dicho cable.



Ilustración 52. Cable rígido. Fuente: Propia

¹³ Dato extraído de la empresa *Goodfellow*.



Ilustración 53. Sección de cable rígido. Fuente: CdP Jarcias

Es el cable más común pero también el más básico en cuanto a prestaciones, este se encuentra en la mayoría de los barcos de crucero y es utilizado por el sector náutico recreativo por las características y prestaciones que tiene, se destacan los siguientes aspectos de este tipo de jarcia:

- La prestación más destacable de este tipo de jarcia es la gran vida útil que tiene. La previsión de vida que dan de fábrica, durante la cual se comprometen a que no sufra alteraciones el material si este se maneja dentro de los parámetros establecidos, es de entre 10 y 15 años, pudiendo llegar a 20 años en condiciones especiales, tales como baja temperatura y salinidad¹⁴. Cabe destacar que muchos armadores alargan este periodo de tiempo, pese que de fábrica aconsejan que se cambie como máximo cada 15 años. Este alargamiento de la vida útil de las jarcias puede llegar a ser un problema debido a la fatiga elástica que sufre el cable así como la corrosión a lo largo de los años. También indicar que un problema que afecta a las jarcias es la cristalización, que ocasiona una debilitación drástica.
- Como se ha podido ver anteriormente en la Tabla 6, la resistencia en tensión de este cable se sitúa en unos valores bajos, en comparación con sus homólogos. Por ejemplo, en cable de 10mm la carga de rotura es de unos 8400 kg.
- Este tipo de jarcias es el que sufre una elongación más acusada, debido a la inferior rigidez que posee. El límite elástico se halla a un 70% de la carga de rotura¹⁵, esto se traduce en que cuando la carga que soporta el cable excede este punto, la fatiga elástica es más acusada y puede suponer un problema.
- El peso en este caso se sitúa en valores altos, pero competitivos dentro de la familia de los cables con base de acero. Como se ha visto en la Tabla 7 en un cable de 10 mm tenemos un peso aproximado de unos 49.40 kg cada 100 metros de cable.
- En cuanto a precio, es el más económico de todos los tipos de jarcias, esto es debido a la simplicidad de los materiales y a la fabricación en comparación a otros productos que veremos más adelante. El precio se podrá disparar en caso de que se usen terminales muy específicos.

¹⁴ Dato extraído de la empresa *Sailing Solutions*

¹⁵ Datos extraídos de la empresa *Yacht Riggers Mallorca*.

Por lo general el precio del material al cambiar una jarcia en un barco de 10 metros suele estar entre los 1000 y 1500 euros¹⁶.

Este cable se encuentra en la mayoría de barcos de crucero, es el cable más utilizado y más común en el mundo de la náutica deportiva. Esta hegemonía en el mercado es debida a diversos factores, entre ellos cabe destacar que fue el primer tipo de jarcia moderna que salió al mercado, por lo que los astilleros la usaban y continúan usando mayoritariamente.

Otro de los factores que explican el hecho de que hoy en día se siga utilizando en la mayoría de los casos, pese a que hay otros modelos de jarcia con mejores prestaciones, es por el hecho de que es la más económica, por lo que seducen los gastos de construcción aumentando los beneficios.

En cuanto se habla de sustituir la jarcia debido al tiempo, la mayoría de la gente opta por mantener la jarcia que el barco traía de origen. Esto es debido a que esta jarcia de cable rígido tiene un coste más económico que sus predecesores, así como la garantía de tener una jarcia que requiere un mantenimiento casi nulo.

Otro factor que también influye a la hora de elegir cambiar la jarcia es el desconocimiento general que existe de este tema y el miedo a forzar el aparejo con jarcias que absorban menos las cargas al ser menos elásticas.

5.1.2 Compact Strand

Conocido comercialmente con el nombre de Dyform¹⁷, al igual que el anterior, el cable está formado por 1x19 hilos de inoxidable torsionados formando una estructura en espiral. La diferencia principal recae en que el hilo central es de un diámetro superior, a continuación se encuentra una capa de 9 hilos más finos y, finalmente, volviendo al mismo diámetro que el hilo interior, encontramos una capa de 9 hilos con la cara exterior plana.



Ilustración 54. Sección de Dyform. Fuente: CdP Jarcias

¹⁶ Precio dado por el rigger Jordi Pujol

¹⁷ Marca registrada por *Bridon International Ltd.*

Para conseguir este acabado, durante el proceso de fabricación, los hilos del cable son sometidos a un proceso de compactación a medida que se van torsinando los hilos, consistente en un estirado y laminado. Este proceso da como resultado un cable más compacto, donde el área metálica de la sección transversal no cambia, pero el diámetro es inferior.

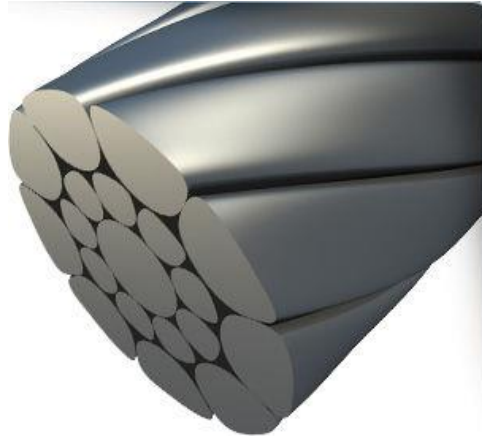


Ilustración 55. Perfil y sección de Dyform. Fuente: *Bridon International Ltd.*

El Dyform es un cable con unas propiedades diferentes por el simple hecho de estar compactado, lo cual lo hace más atractivo que el anterior para veleros donde se busque un producto de prestaciones superiores sin dar el salto a materiales más punteros, entre las prestaciones que ofrece se destacan:

- Pese a estar hecha del mismo material que el cable rígido, la construcción lo dota de más rigidez, por lo que la fatiga elástica puede aparecer antes que en el modelo de jarcia anterior. Pese a esto, desde fábrica le dan la misma vida útil que en el caso de la jarcia de cable rígido, es decir, unos 10-15 años en condiciones normales, llegando a 20 años¹⁸ en condiciones especiales.
- Como se ha visto en la Tabla 6, la resistencia en tensión de este producto es superior a su homólogo de cable rígido, ya que a igualdad de diámetro, el área metálica de la sección es superior debido a estar compactado. Con un cable de Dyform de 10 mm de diámetro, obtenemos una carga de rotura de 10021 kg. Esto ofrece la posibilidad de poner una jarcia de un diámetro inferior con lo que el peso y los costes disminuirían, esta disminución del diámetro se debería consulta con un especialista o con el astillero.
- La rigidez es superior que en el caso anterior debido a la estructura prensada, esta disminuye los huecos entre los hilos, provocando que se puedan comprimir y alargar menos. El límite elástico se halla a un 80% de la carga de rotura¹⁹, por lo que puede soportar una carga superior al anterior sin llegar a ese punto. Una vez superado las consecuencias de aparición de la fatiga elástica son las mismas.

¹⁸ Dato extraído de la empresa *Sailing Solution*

¹⁹ Dato extraído de la empresa *Yachts Riggers Mallorca*

- En la Tabla 7 se puede observar como en igualdad de diámetro el peso es ligeramente superior al anterior, debido a la mayor cantidad de material en la misma sección. El peso en un cable de 10mm de diámetro se encuentra sobre los 54 kg cada 100 metros.
- Debido a las características de fabricación más complejas mencionadas anteriormente y la mejora de las propiedades que ofrece, el precio es superior al anterior. Cambiar la jarcia en un barco de 10 metros con cable Dyform costaría unos 2000-2500 euros aproximadamente²⁰.

Este cable se puede considerar como el siguiente predecesor del cable rígido. Nace de la necesidad de crear cables cada vez más rígidos pero sin encarecer el producto demasiado, haciéndolo accesible económicamente hablando, para el mercado de la náutica deportiva.

Este producto se está empezando a usar en los astilleros más importantes, como Jeanneau, Bavaria Yachts y Beneteau. Esto es debido que no suponen un gran aumento de precio en comparación al total del precio de construcción del barco y se obtienen unas mejoras sustanciales en cuanto a resistencia y elasticidad. Todo esto sin perder cualidades de vida útil del material.

Cabe señalar que en algunos barcos clásicos de madera se usa para el estay y el backstay, minimizando así su elongación. En el caso de los obenques, para barcos clásicos sin modificaciones estructurales, o que de origen no la llevaban, se mantiene la jarcia de cable rígido, ya que la tensión que no absorbe la jarcia estirándose, la absorbería los cadenotes. Estos podrían llegar a separar las planchas de madera del forro produciéndose filtraciones de agua.

Esta jarcia se está extendiendo en el mercado, con lo que llegará a desbancar a la jarcia de cable rígido en la nueva construcción. En cuanto en la sustitución de la jarcia de cable rígido por la de Dyform, hay que tener en cuenta que esta jarcia supondrá una mayor transmisión de la tensión a los cadenotes, cuadernas maestras y demás elementos de anclaje de la jarcia firme. Por lo que habrá que comprobar el estado de estos elementos y reforzarlos en casos puntuales. En caso de hacer cualquier cambio de material en la jarcia habrá que consultar a un especialista o al astillero.

5.2 Jarcia de varilla

Pese a que parece una jarcia hecha de acero inoxidable como los dos cables anteriores, se sitúa en otro grupo debido a que se trata de una evolución de las jarcias de inoxidable, el material que la compone se llama *Nitronic*. Esta es una aleación de acero inoxidable reforzado con: Nitrógeno, en un 0.20- 0.40%; Silicio, en un 1.0% y Manganeso en un 4.0- 6.0%²¹. Esta unión da como resultado un producto con unas excelentes cualidades para inhibir el desgaste, el agrietado, la corrosión en el medio marítimo y una mejora del límite elástico.

²⁰ Precio dado por el rigger Jordi Pujol

²¹ Datos extraídos de la empresa *Acequisa*.

Las varillas en el sector no se miden según el diámetro, las medidas se dan en función del *Dash*, esto es la carga de rotura que tiene expresada en miles de libras. La forma de escribirlo es la siguiente: “-22”, el prefijo hace referencia al tamaño del Dash. Por ejemplo, una varilla de -22 significa que tiene una carga de rotura de unas 22000 libras aproximadamente.

Pese a que este es el nombre común, cada Dash tiene una equivalencia en milímetros; en el caso de -22 equivale a un diámetro de 9.5 mm.

Debido a esta nomenclatura diferente, la denominación de las varillas no siempre tiene una correlación con una cifra entera en milímetros como es el caso de las jarcias de cable rígido o Dyform. Cuando se realizó la Tabla 6 y Tabla 7, en el apartado de Varilla, se realizó una interpolación de los valores dados en la Ilustración 119 del Anexo A1.1 para aproximar los valores a lo que le correspondería a un diámetro entero.



Ilustración 56. Sección de Varilla. Fuente: CdP Jarcias

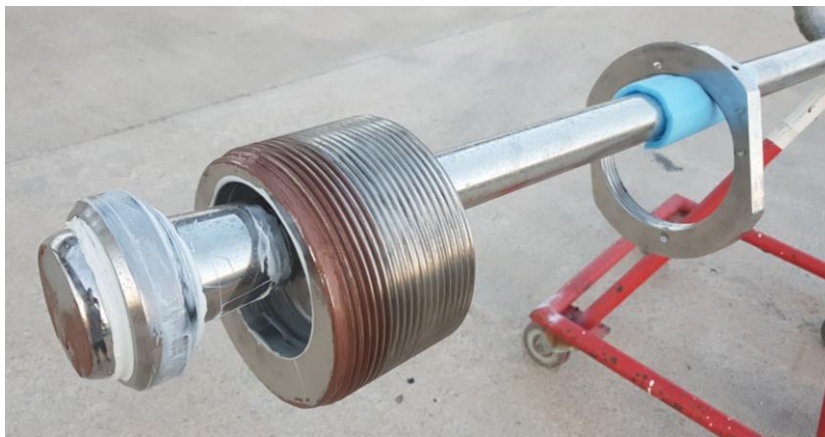


Ilustración 57. Sustitución de jarcia de Varilla. Fuente: Propia

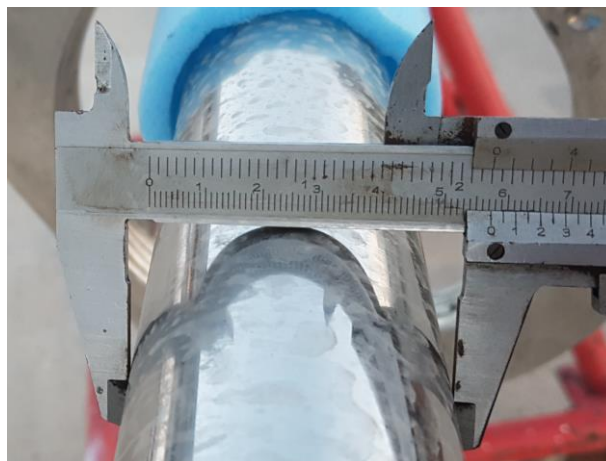


Ilustración 58. Diámetro correspondiente a jarcia de la Ilustración 57. Fuente: Propia

A diferencia de los cables de inoxidable, las varillas no están compuestas por hilos torsionados en forma de espiral. Como se puede apreciar en la Ilustración 57, es un único hilo rígido, de perfil redondo y macizo.

Esta constitución dota al cable de unas características muy atractivas para los veleros de regatas de niveles intermedios y altos. La gran implantación de este producto en los campos de regatas con recorridos barlovento- sotavento se debe a las prestaciones que ofrece, que son:

- La vida útil de la varilla, viene condicionada principalmente por los esfuerzos a que es sometida. Los fabricantes recomiendan que la jarcia de varilla se cambie cada 8 años o después de unas 70.000 millas navegadas como máximo. Para alargar tanto la vida útil de la varilla se deben realizar una serie de revisiones periódicas y cada 6 años o 50.000 millas navegadas, una inspección en profundidad para comprobar que todo esté en buen estado²².
- Como se ha visto en la Tabla 6, la resistencia en tensión de la varilla es superior a las anteriores, al ser un único hilo macizo, la sección metálica completa en su totalidad el diámetro, por lo que a mismo diámetro la resistencia aumenta. Una varilla de 9.5 mm tiene una resistencia a la tensión de 10.200 kg²³. Es decir, con un diámetro inferior tenemos más resistencia que en los casos anteriores.
- Al tratarse de una estructura maciza, la ausencia de huecos impide la compresión del cable y la consecuente elongación. Como resultado se obtiene una jarcia extremadamente rígida. El límite elástico se haya cerca del 85% de la carga de rotura²⁴. Estas características hacen que sea un

²² Dato suministrado por el rigger *Jordi Pujol* y la empresa *Sailing Solutions*.

²³ Dato extraído de *BSI*.

²⁴ Dato extraído de *BSI*.

producto que sufra mucho la fatiga elástica y por ese motivo se recomienda la sustitución y controles más rigurosos que en los anteriores casos.

Uno de los problemas que da la extrema rigidez es la poca resistencia a la torsión que tiene. Para evitar este problema, los terminales pueden girar en sus bases libremente sin producir torsiones en el cable. Por esa razón los terminales más utilizados son los de bola.

- Como se ve en la Tabla 7, al ser macizo se necesita más material, por consiguiente la jarcia pesa más. El peso de 100 metros de varilla de un Dash de -22 (9.5 mm) ronda los 56 kg.
- El precio es superior al anterior, debido al aumento de costes de producción, diseño y mejora de las propiedades. El precio de sustituir una jarcia de varilla en un barco de 10 metros estaría sobre los 4000 euros²⁵.

La principal ventaja que ofrece respecto a las anteriores es el aumento de la resistencia y la rigidez. Estos dos factores hacen que sea muy cotizada en el mercado de los veleros de competición. Aunque a priori el aumento del peso parezca una tara, en algunos veleros se compensa colocando cables de varilla de diámetros inferiores, estos, pese a sufrir más fatiga, tienen la resistencia necesaria para una sujeción firme y segura del aparejo a menor peso y un precio más económico.

Hay que tener en cuenta que estos cables ya no trabajarán al 15-35% de la carga de rotura, lo harán en valores cercanos al 50% o superiores, lo que se traduce en una fatiga superior del material. Por regla general, los veleros que hacen este tipo de estrategias cambian la jarcia cada dos o tres temporadas como máximo y durante este periodo se hacen revisiones continuas.

Pese a que son más pesadas que sus predecesoras y hacen bajar el rendimiento de los veleros en regata, esta jarcia está muy extendida en los campos de regatas de barlovento y sotavento. Esta utilización de la jarcia de varilla, pese al aumento de peso que supone, es debido al sistema de medición de los barcos para competir en clases que no son monotipo. En el sistema de medición de ORC (Offshore Racing Congress), para obtener el Rating, una de las pruebas que se realizan es de estabilidad.

La estabilidad se mide situando un contrapeso conocido en el extremo de un tangón a una y otra banda y midiendo la escora que se produce mediante un inclinómetro electrónico. El tener una jarcia más pesada, como es el caso de la varilla, implica que el barco se comportará de un modo más inestable durante dichas pruebas.

²⁵ Precio dado por el rigger *Jordi Pujol*.



Ilustración 59. Medición de estabilidad. Fuente: Propia

En el Sistema de Medición ORC, se estima que cuanto más inestable sea un barco, peor navegará, por lo que necesitará tener un mejor Rating que le permita competir en igualdad de condiciones con otros barcos más estables.

Durante la navegación este aumento de peso en el aparejo y mayor inestabilidad se traduce en una mayor escora, esta se podrá compensar con el contrapeso que ejercerá la tripulación en la banda y un correcto trimado de velas. Por consiguiente en navegación se obtendrá un barco con un comportamiento en cuanto a velocidad y ángulo muy similar a otros barcos más estables, pero con un mejor Rating.

5.3 Jarcia de PBO

La aparición de fibras sintéticas produjo una revolución en la industria de las jarcias. En 1997 fue cuando se dio el paso definitivo con la invención y desarrollo de las jarcias compuestas de fibras de Zylon, denominadas comercialmente como PBO; estas son una mezcla de fibras de polímeros, concretamente *p-fenileno-2* y *6-bezobisoxazol*. Las excelentes propiedades mecánicas que ofrece, hace que sea un material idóneo para aplicaciones estructurales.

Las jarcias de PBO a diferencia de las anteriores están compuestas por fibras unidireccionales, por lo que no se encuentran trenzadas. La tecnología utilizada durante la confección, elección del material y diseño es muy superior, por lo que se obtienen unas propiedades muy atractivas.

Para entender las propiedades que ofrece este material, es muy importante conocer la manera en que se fabrica. La confección de cada cable se realiza en un ambiente libre de rayos UV donde se controlan y miden parámetros como la humedad y temperatura. Esto ofrece unos estándares de calidad muy altos, que en el caso de la empresa *EasyRigging* cumple lo establecido por la sociedad de clasificación *Germanischer Lloyd's*.

Para producir cada cable se sigue una técnica basada en 4 pasos principales.

1. Estudio de las características que debe satisfacer el cable, esto se realiza por el departamento técnico y de ingeniería. En estos departamentos se estudia en qué ambiente se moverá el barco,

el tipo de aparejo que lleva y las cargas que debe soportar, una vez reunida toda la información adiente, decidirán en consecuencia los parámetros que debe satisfacer.



Ilustración 60. Fibras de Zylon alrededor de un terminal. Fuente: *Easy Rigging*

2. Estos parámetros obtenidos son dados a un programa, este calcula el número de fibras y vueltas que será necesario dar alrededor de los dos terminales hasta llegar a los valores establecido. El programa pasa la información a un robot, este va construyendo el cable con las fibras vuelta a vuelta alrededor de los terminales. El robot está dotado de sistema de control de tensión y cada vuelta está tensada exactamente igual que la anterior, con lo que cada fibra aguantará la misma tensión, consiguiendo de esta manera una gran calidad del producto.
3. Sellado del cable. Para proteger las fibras interiores del ambiente en el que se encuentra, se coloca una funda. Esta se coloca mediante un robot dotado de un sistema de contracción por calor de baja frecuencia, con lo que la funda compacta las fibras interiores sellando y protegiéndolas completamente de los agentes externos.

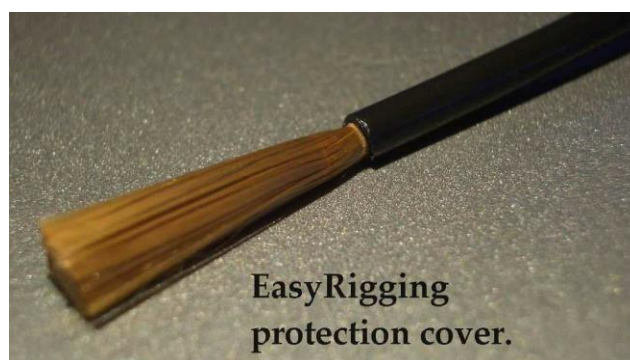


Ilustración 61. Funda y fibras de un cable de PBO. Fuente: *Easy Rigging*

4. Finalmente todos los cables son testeados para pasar el control de calidad antes de ser enviados a destino. Se someten a un control de la longitud, esta se debe encontrar dentro de los límites, que en el caso de *EasyRigging* es de 0.1mm de margen, así como un test de resistencia realizado por sistemas hidráulicos, estos someten al cable a una tensión que es entre 2 y 2.5

veces la carga de trabajo del cable, siendo esta una tensión que no se llega a dar nunca en un cable bien dimensionado.

Las características de la fabricación y de los materiales utilizados dan como resultado unas prestaciones muy concretas:

- La vida útil de las jarcias de PBO es muy inferior a la de los cables con base de acero. Desde el servicio técnico se recomienda que un cable de PBO que ha sido inspeccionado regularmente y no presenta señales de daños se cambie cada 3 años o a las 26.000-30.000 millas navegadas, lo que ocurra primero; siempre y cuando la carga máxima de trabajo que soporta sea inferior al 25% de la carga de rotura. En casos de barcos de regata, donde la carga de trabajo puede llegar e incluso exceder puntualmente el 25 y el 35%, se recomienda que la jarcia se cambie cada 2 años o a las 17.000-20.000 millas navegadas²⁶. Por otro lado, desde la empresa *PowerLite PBO Rigging*, advierten que la jarcia de PBO, si está bien mantenida y cumple con las especificaciones dadas por fábrica respecto a tensiones y mantenimiento puede durar entre 4 y 6 años, incluso hasta los 8 años si siempre se mantiene en buen estado, aunque en barcos de regata recomiendan que se cambie cada 4 años por motivos de seguridad. Esto es debido a la extrema sensibilidad de las fibras que componen el PBO, pese a que están protegidas en el interior de las fundas, estas se pueden dañar por el continuo roce de una escota, con lo que las fibras quedarían expuestas. Debido a esta exposición a los elementos, se pueden debilitan con mucha rapidez, llegando a perder la integridad estructural del aparejo si son expuestas tanto a la humedad, como a la luz visible o a la ultravioleta.
- La carga de rotura de un cable de PBO de 13.5 mm de diámetro es de 21950 Kg, lo que supone un valor más alto que para su homólogo en diámetro de jarcia de varilla²⁷.
- La rigidez de las jarcias de PBO también es superior a las de base de acero, siendo hasta un 18% superior a las de varilla, esto les ocasiona un gran desgaste por fatiga elástica con las consecuentes necesidades de cambiarla regularmente.
- El peso, al tratarse de fibras sintéticas es mucho inferior al metálico, en igualdad de diámetro puede llegar a ser entre un 80 y 85% más ligera que la jarcia de varilla. En un cable con una longitud de 100 metros y un diámetro de 13.5 mm, el peso sería de unos 16.2 Kg.
- El precio da un salto debido a la diferencia de productos y a todos los procesos y técnicas usados durante su construcción. Esto hace que sea un producto que principalmente se encuentra en veleros que cuentan con un alto presupuesto. El PBO cuesta unas 4 veces el precio de la varilla. El presupuesto aproximado de cambiar la jarcia de un barco de 10 metros sería de unos 12000 euros²⁸.

²⁶ Dato proporcionado por *Sailing Solutions*

²⁷ Dato extraído del artículo patrocinado por *Future Fibres: Fiber as Rigging Materials*, en la página *Azo Materials*

²⁸ Precio orientativo dado por *Sailing Solutions*



Ilustración 62. Sección de PBO. Fuente: Propia

La ventaja principal del PBO es el bajo peso que tiene este producto con respecto a su principal competidor la varilla, en términos de rigidez y resistencia. Por el contrario, el mayor problema al que debe hacer frente es el deterioro que sufre debido a las condiciones medioambientales, a diferencia de los cables con base de acero, la jarcia textil se encuentra con una variedad de situaciones que afectan perjudicialmente a la expectativa de vida de este. Las fibras de PBO son sensibles a la luz solar y la UV, así como la humedad.

Por este motivo, las jarcias de PBO son mucho más susceptibles dadas las condiciones que las rodean. Por este motivo se deben revisar regularmente de forma minuciosa y cambiarlas según las indicaciones del fabricante.

Por sus características y alto precio, su uso está concentrado en los mega-yates y en la alta competición, donde hay presupuestos más amplios.

En barcos de regatas a nivel medio, donde no se tienen presupuestos muy elevados, el PBO se utiliza de manera combinada con la varilla. La jarcia de varilla se colocará en el estay y obenques, mientras que el PBO se colocará en burdas volantes y backstay, el motivo de esta combinación es que al ser menos pesado, es más fácil de manipular cuando en una trasluchada con poco viento se engancha la baluma de la vela mayor en el backstay y hay que liberarla moviéndolo bruscamente o, en el caso de las burdas, menos peso significa menos inercia, y significa que la burda que está suelta a sotavento dando bandazos no supondrá ningún peligro para la tripulación o el barco.

Las jarcias de PBO para los obenques se encuentran principalmente en mega-yates, ya que estos tienen un mayor presupuesto y la disminución de peso permite tener un barco más estable gracias a la disminución del centro de gravedad y los consecuentes movimientos dinámicos.

5.4 Jarcia de Dyneema

Dyneema es el nombre comercial de la fibra de polietileno de peso molecular ultra alto, también conocida como polietileno de alto módulo, este plástico está formado por moléculas que forman largas cadenas por lo que transmiten la fuerza efectivamente, las fibras obtenidas de estas moléculas son prestiradas hasta llegar a alcanzar longitudes cientos de veces la original. Con este estiramiento se obtienen unas fibras muy finas y con todas las moléculas orientadas en la misma dirección y posteriormente, al someterse a bajas temperaturas obtienen un estado de cristalización, gracias a la cual se obtiene una fibra con una gran tenacidad, por lo que es capaz de absorber gran cantidad de energía antes de romperse.



Ilustración 63. Detalle de fibras paralelas, cabo de Dyneema. Fuente: Propia

Esta fibra sintética fue descubierta en la década de los sesenta por el químico Albert Pennings, pero no fue comercializada hasta principios de los años noventa por la empresa holandesa *DSM*. Esta empresa solamente suministra las fibras de Dyneema a las diferentes empresas fabricantes de cabos, posteriormente estas empresas tratan las fibras trenzándolas en diferentes diámetros y composiciones, creando sus propios cabos.



Ilustración 64. Detalle del entrelazado de un cabo de Dyneema SK75. Fuente: Propia

Hoy en día, en el mercado, existen diferentes grados de Dyneema, todos ellos comercializados por la empresa *DSM*, cada uno de estos tipos ofrece unas características mejoradas respecto a las anteriores. Los tipos de Dyneema en el mercado, y sus características generales son los siguientes:

- *SK75* Durante muchos años este ha sido el Dyneema más fuerte conocido y es la fibra más común que se tiene como referencia. Debido a nuevos avances y la aparición de nuevos grados de Dyneema, esta fibra cada vez se usa menos y menos, por lo que algunas marcas como *Marlow* ya no la ofrece en sus cabos nuevos.
- *SK78* Se ha convertido en la fibra estándar que ha sustituido a la *SK75* en muchas de las marcas más conocidas. Tiene la misma resistencia en tensión que la fibra anterior, pero ofrece una mejora en la fluencia respecto el caso anterior.
- *SK90* Salió al mercado en el 2009, ofrece una mejora en cuanto a la resistencia en tensión del 10-15% respecto a las fibras de *SK75/78* y en cuanto a la fluencia vuelve a los valores del *SK75*. Por estos motivos, pese a que está en el mercado no es muy utilizada.
- *SK99* Esta fibra salió al mercado en 2013. Entre sus ventajas destacar un aumento de la resistencia en tensión de un 20% respecto al *SK78*, manteniendo la misma fluencia que este último. Por estos motivos supera al *SK90* en todos los sentidos, siendo el material más puntero para la elaboración de las almas de los cabos.

Como se ha visto en la Tabla 6 y la Tabla 7 las características que ofrece el Dyneema, son unas propiedades de peso y resistencia a tensión excepcionales, por lo que sería un material con potencial para ser usado como jarcia firme en obenques y estays. El problema es el factor de fluencia, la fluencia es la elongación plástica que se produce en un material cuando este está bajo tensión estáticas durante un periodo de tiempo prolongado a una cierta temperatura, como es el caso de los obenques, diagonales y estays. Este efecto de fluencia produce una elongación en una mayor o menor medida según el grado de Dyneema, ocasionando que la jarcia se destense con el paso del tiempo, al principio se puede corregir, pero al final los tensores no dan para más, por lo que se debe sustituir la jarcia por la imposibilidad de aplicar la tensión deseada.

Para evitar este problema, se diseñó un nuevo grado de Dyneema, este es el *Max DM20* que salió al mercado en el 2014. Entre las mayores ventajas que ofrece ante los otros grados es la inexistencia de fluencia a lo largo del tiempo, unido a una resistencia superior a la que ofrece *SK75*, como se aprecia en la Tabla 6, dando como resultado una fibra que es capaz de funcionar como jarcia firme transversal y longitudinal sin la elongación que afectaba a los grados anteriores debido a la fluencia a lo largo del tiempo. También ofrece una excelente resistencia a la luz UV, así como a la abrasión, siempre y cuando no se deslice por superficies abrasivas.

Las prestaciones que ofrecen las jarcias de Dyneema hechas de *Max DM20* son las siguientes:

- La vida útil de las jarcias de Dyneema depende de diversos factores internos y externos. En cuanto internos se refiera hay que tener en cuenta que el Dyneema es un polímero, y como tal

se degrada por reacciones oxidantes. Estas reacciones se ven aceleradas por la luz ultravioleta, la temperatura ambiente, la humedad y por el tipo de polímero.

En el caso del Dyneema, el descenso de propiedades por la radiación UV depende del diámetro de la sección, ya que esta radiación no penetra profundamente, por lo que la degradación es más acusada en diámetros pequeños. De todos modos en el grado *DM20*, gracias al tratado de la fibra con capas protectoras, como la cera más oscura de la Ilustración 64, se puede evitar la acción de los rayos UV, así como la utilización de fundas como en la Ilustración 65, que también protegerán la jarcia frente a la abrasión de elementos externos.



Ilustración 65. Funda de un cabo de Dyneema. Fuente: Propia

Cabe destacar su gran resistencia a los productos químicos, ya que al estar compuesta solamente por polietilenos de gran peso molecular, no contiene ningún otro elemento químico que pueda ser susceptible de dañarse por algún agente agresivo.

En los puntos débiles simplemente señalar que se funde sobre los 144-152 °C, por lo que se precisa la utilización de fundas en las zonas donde se puedan dar abrasión debido al roce continuado. Entre las propiedades cabe destacar las siguientes:

- La carga de rotura de este material, en el caso de *DM20*, se sitúa en valores que compite con la varilla y el Dyform, siendo de 23500 Kg para una jarcia de 16mm de diámetro.
- La elongación elástica que sufre el Dyneema en el momento de romperse, es de entre el 3 y el 4% de la longitud total²⁹, por lo que estamos ante un producto bastante rígido comparativamente hablando.
- El peso de la jarcia de Dyneema, al igual que las de PBO, es mucho inferior a las metálicas. La principal ventaja frente a las de PBO recae en que no es necesario poner funda para proteger las fibras interiores, por lo que el peso disminuye. Por ejemplo, en un cabo de 100 metros de Dyneema con un diámetro de 14 mm, el peso es de 12 Kg, casi 4 kg por debajo del peso de PBO con un diámetro de 13.5 mm

²⁹ Dato extraído de la empresa *DSM*.

- El precio del Dyneema *Max DM20*, es inferior al PBO debido a la estructura, así como la sencillez de las terminaciones, lo cual abarata el precio notablemente.

El Dyneema es un producto en continua expansión y desarrollo, como se ha visto en la aparición de diferentes grados de Dyneema en los últimos años. El Dyneema en general siempre ha sido una fibra muy utilizada desde los años noventa como jarcia de labor en drizas y en la jarcia firme en las burdas volantes, ya que permiten mayor libertad de ajuste y no están siempre tensadas. En algunos veleros de regata incluso en el backstay ya que el sistema de polipastos o el cilindro hidráulico permite una mayor variación de longitud, esto permitía la utilización de Dyneema en estos casos.

La aparición del DM20, el Dyneema puede ser utilizado como jarcia firme en obenques y estays, ya que se elimina el principal problema que lo impedía, la fluencia. Gracias a esta nueva fibra, aparece el máximo competidor para el PBO, debido a su gran resistencia en tensión, bajo peso, mejor precio, mejor resistencia a factores ambientales como los rayos UV y la humedad. También destacar la sencillez de la finalización de las jarcias de Dyneema, estas son unidas a los terminales mediante ajustes y costuras simples, esto es introducir el cabo dentro de sí mismo creando una gaza donde se colocará el terminal como se observa en la Ilustración 66.



Ilustración 66. Jarcia transversal de Dyneema. Fuente: Propia

La facilidad de manipulación de estas jarcias es debido a que son un cabo extremadamente flexible, por lo que se puede realizar la jarcia uno mismo si se tienen un mínimo de conocimientos, pero siempre es

aconsejable que sea realizada por especialistas, ya que esto dará un plus de seguridad al aparejo. Es importante tener presente que al realizar un nudo como acabado en el Dyneema, se pierde alrededor del 60% de resistencia a la tracción en ese punto, por lo que el cabo sufre un debilitamiento fatal; en cambio, si se realiza una costura por especialistas, según la normativa sobre cuerdas trenzadas de 8 o 12 cabos de fibra de polietileno de alto módulo, esta resistencia a la tensión simplemente disminuirá en un 10%³⁰.

Finalmente, y pese a que el Dyneema es un producto con una excelente resistencia a la abrasión, es aconsejable colocar una funda protectora en las zonas donde más rozamiento vaya a haber. En el caso de los veleros será en los primeros 3-4 metros dependiendo del barco ya que es la zona más propensa a que rocen las escotas del génova o del espi. La funda más apropiada es como la que se ve en la Ilustración 66, una funda trenzada de 32 torones hecha de un material resistente a la abrasión como puede ser el Dyneema o incluso Technora. Esto alargará la vida de la jarcia ampliamente ya que la protegerá ante desgastes indeseables.

Por último señalar que la duración en el tiempo del DM20, al ser un producto relativamente nuevo, las jarcias de este grado no se han podido testear en modelos reales, simplemente en modelos numéricos. Cabe señalar que en 2012, los primeros modelos numéricos sobre la fluencia de este material la databan en un 0.02% de elongación cada año y le daban una vida útil de 25 años respecto a la fluencia. En cambio en 2014, con los primeros ensayos en modelos reales se ha comprobado que la fluencia es inexistente. Es decir, hay que estar atento a los avances que vayan saliendo respecto este nuevo grado de Dyneema, ya que es muy prometedor, pero a la vez ser cautos.

5.5 Jarcia de Carbono Composite

El material primario usado en las jarcias es la fibra de carbono, esta se trata de una fibra sintética fabricada a partir del poliacrilonitrilo compuesta por filamentos de carbono de entre 5 y 10 micras de diámetro y tiene unas propiedades mecánicas similares al acero, pero siendo muchísimo más ligera y con una dureza que la hace superior a la resistencia por impacto.

Se empezó a aparejar los veleros con este tipo de jarcia a partir del 2004³¹ cuando se desarrolló un producto cuyas características eran capaces de satisfacer las necesidades del mercado y las propias de las jarcias. Estos cables están formados por fibras de carbono unidas formando unas finas barras de carbono llamadas *rods*, estas se sitúan en paralelo formando una estructura unidireccional y unida mediante resina de epoxi generalmente.

En el caso concreto de las jarcias de la empresa *Future Fibres*³², el carbono que utilizan para sus jarcias proviene de la empresa americana *Hexcel*. El tipo de fibra exacto utilizado es su producto de más calidad es el *HexTow IM9*, este modelo de fibra está compuesto por unos 12000 filamentos/fibra sin torsión y

³⁰ Según normativa UNE-EN ISO 10325:2010

³¹ La empresa *Future Fibres* sacó al mercado su primer modelo de jarcia

³² Dato extraído del artículo escrito por *Dona Dawson* el 3 de Febrero de 2015 en la revista *Composites World*

con un contenido neto de carbono del 95%³³, lo que le proporcionará las características que veremos a continuación.

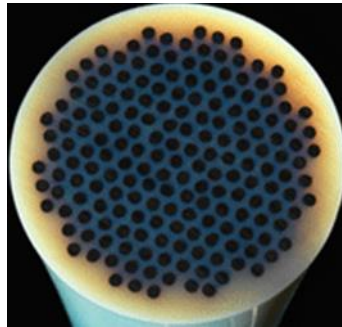


Ilustración 67. Sección transversal, distribución interna de los rods. Fuente: Future Fibres

Pese a ser un material sintético como el PBO y el Dyneema, la forma en que se maneja para crear los cables es muy diferente. Estas jarcias son únicas para cada barco, por lo que cada cable es diferente y satisface unas necesidades propias según su finalidad. Por ese motivo las jarcias de carbono composite es un producto que se hace a medida y sigue una serie de pasos hasta que se completa³⁴, esto son los siguientes:

1. Una vez recibido el encargo con las necesidades a satisfacer, principalmente la rigidez y la carga de trabajo que deberá resistir, el equipo de ingeniería de la empresa, en conjunto con los diseñadores del barco y del aparejo, hacen un estudio de las fuerzas que se aplicarán y los distintos momentos de inercias y esfuerzos que sufrirá el aparejo. Una vez recopilada toda esta información, se realiza una plantilla de situación donde se detalla el número de rods que contendrá, la tolerancia de estos y el grosor de cada uno.
2. Un robot automatizado suministra la cantidad exacta de fibras que formarán cada rod, estas se unirán con resina y se colocaran con una tensión determinada de manera que todos soporten la misma tensión y se compactarán para reducir el diámetro.
3. Una vez curado el epoxi en unas cámaras con temperatura y humedad controladas, se pinta con una pintura con base uretanada que protegerá los rods de carbono de las radiaciones UV.
4. A continuación se extienden los rods y se unen manteniendo en todos ellos la misma tensión para proceder al siguiente paso.
5. Un segundo robot se encarga de la confección y colocación de una funda de *technora* o Dyneema. Esta funda, que será la encargada de mantener todos los rods en su sitio, está hecha de un material que resiste la abrasión así como aísla los rods del medio marino. Normalmente el

³³ Dato obtenido de la empresa *Hexcel*, según las especificaciones técnicas de la fibra *HexTow IM9*

³⁴ Datos obtenidos de la empresa *Future Fibres*

material que se utiliza es *Spectra*, pero también se utilizan *Dyneema*, *Technora*, o incluso *Poliéster* dependiendo del presupuesto.

6. Por último cada cable se testea para comprobar que cumple con los estándares de calidad fijados y que no hay ninguna anomalía.



Ilustración 68. Cable de carbono composite con funda de Dyneema y sin funda. Fuente: Propia

La unión de este producto junto con la técnica usada en su producción, dan como resultado un cable con unas propiedades excepcionales³⁵:

- La vida útil es una de las mejores cualidades que tiene este producto. Debido a la alta calidad y el alto nivel de los barcos donde se instala, hace que estas jarcias no puedan fallar. De modo que de cara a prevenir cualquier fallo, de fábrica piden que se revise periódicamente y que se desmonte cada 4-5 años, según el tipo de navegación y millas navegadas, para ser enviado a fábrica y revisarlo completamente. Una vez se ha revisado completamente, si cumple con los requisitos, se le vuelve a dar una garantía de 5 años. Finalizado este periodo se tendrá que volver a enviar a fábrica para testear.
- En cuanto a resistencia a la tensión, el carbono composite es un 50% más resistente que el cable con base de acero.
- La rigidez también es superior, pero las características mecánicas del material que la compone, hace que sea menos susceptible a la fatiga elástica con lo que el desgaste es inferior que en las de PBO.
- El peso disminuye un 70% en comparación con las jarcias de varilla.

³⁵ Tomando como modelo la jarcia firme de carbono composite de la empresa *Future Fibres*

- En este caso el precio es bastante superior. Se trata de jarcias hechas a medida y detrás de cada cable hay un equipo extenso de ingenieros y técnicos especializados trabajando. Así mismo el material es mucho más caro por lo que se aumentan los costes de producción.

Si lo comparamos con otros productos similares, las ventajas son múltiples. Cabe destacar que debido a su estructura formada por rods, estas jarcias son extremadamente flexibles, ayudándolas a resistir fracturas por flexión, compresión e impactos. Esto se debe a que los rods se pueden mover libremente dentro del cable, con lo que se pueden doblar para absorber la energía del impacto, minimizando así su efecto. Otra ventaja, en esta línea, es que este tipo de cable puede seguir manteniendo sus propiedades hasta con un 25% de los rods dañados, dando un plus de seguridad. También hay que tener en cuenta que en caso de daño parcial de cierto número de rods, estos se pueden substituir sin necesidad de cambiar el cable completamente, lo que reduce los costes.

Como desventajas es importante señalar que es muy susceptible a los rayos UV y a la abrasión, por lo que se le coloca una funda protectora. Para prevenir que la abrasión pueda atravesar la funda y dejar los rods expuestos a los rayos UV o directamente debilitarlos, en las zonas donde la abrasión puede ser más continua e intensa se le coloca un protector externo adicional como el de la Ilustración 69, este está hecho en carbono y se hace a medida para cada cable, siendo su diámetro un poco inferior para que entre a presión y no se mueva.



Ilustración 69. Cable de carbono composite con protector. Fuente: Propia

Conforme más especializado es el material y el producto obtenido, las empresas ofrecen menos información sobre las características del material y las especificaciones técnicas del producto final en cuanto a resistencias, peso, modo de fabricación, etcétera. Esto es debido a que es un sector que está en auge i en continua expansión, por lo que al público general se le ofrece solo una idea del producto. Estas empresas invierten la mayoría de su capital en I+D, por lo que el secretismo en este sector es bastante acusado. Para escribir este subcapítulo se ha utilizado información facilitada por la empresa Future Fibres y se ha completado con artículos relacionados escritos en revistas especializadas.

Señalar que, realizando una visita a la sede de Future Fibres en Valencia junto a mi padre por una cuestión de trabajo, por el simple hecho de pisar la fábrica se nos hizo firmar un contrato de

confidencialidad conforme no íbamos a hacer fotografías ni relevar ninguna información sobre las acciones que se llevaban a cabo en dicha fábrica.

Future Fibres es una de las empresas más punteras en el desarrollo i confección de las jarcias de carbono como materia prima. Esta empresa surgió en 1999 y en 2004 lanzaba al mercado su primer producto de la rama de carbono composites. En esta rama cuenta con dos productos principales, estos tienen el mismo proceso de fabricación y base que se ha explicado anteriormente, pero la calidad de las fibras de carbono es diferente, con lo que se obtienen pequeñas diferencias.

5.5.1 ECsix

Dentro de la gama de carbono composite para jarcia fija que ofrece *Future Fibres*, este es el producto principal, es el más rígido y liviano que fabrican, pero también el más caro. Puede instalarse en todos los tamaños de velero, aunque es poco común encontrarse ECsix en barcos de menos de 50 pies debido al alto precio que tiene.

Abastecen principalmente el sector de los mega-yates y el de la alta competición. Hay diversos tipos de navegación dentro del mundo de las regatas y diversos tamaños de barcos, para satisfacer las necesidades específicas de cada uno, disponen de tres grosores para los rods que componen la jarcia, estos grosores son los siguientes:



Ilustración 70. Rods finos e intermedios. Fuente: Propia

- Los rods más finos son de 1 mm de diámetro, y se instalan mayoritariamente en barcos de regatas cortas donde prima la rigidez y ligereza. Los clientes principales suelen ser barcos que participan en clase monotipo como los TP52. Esta clase es característica por tener cierta movilidad de diseño, lo que comúnmente se conoce por el término en inglés *Box Rule*. Esto significa que los barcos de esta clase han de tener unas dimensiones y pesos dentro de los límites, pero hay libertad de movimiento dentro de estas reglas. Esta libertad, unida al hecho de que hoy en día es una de las clases más profesionalizadas que existen en el mundo de la vela y que al ser una clase mono-tipo donde quien llega primero gana, hace que cualquier pequeña modificación haga que un barco pueda correr más que otro. Por este motivo, barcos como el *Quantum Racing*, *Platoon* y el *Bronenosec Gazprom*, participantes de las *52 Super Series*, fueron los primeros en usar jarcia ECsix en la temporada 2016.
- Los rods intermedios tienen un diámetro de 2 mm y son usados en barcos de regatas que alternan el circuito *inshore* con el *offshore*, estos buscan un producto versátil, pero que ofrezca

grandes ventajas adaptándose a los dos tipos de navegación, también es común su instalación en mega-yates de altas prestaciones como los *Wally* o los *Swan*.

- Los rods más gruesos, de entre 3 y 4 mm son instalados en barcos de regatas transoceánicas. Estos barcos navegan en cualquier condición meteorológica y durante varias semanas e incluso meses, dependiendo de la regata, están bajo tensión y trabajando continuamente sin ninguna revisión salvo las inspecciones rutinarias que hace la tripulación. De cara a resistir estas condiciones, los rods se hacen de un diámetro superior, por lo que son más inmunes que los finos a los golpes, abrasión y rayos UV que puedan penetrar. Con este tipo de jarcia están equipados algunos de los *Open 60*, que participan en regatas como la *Vendée Globe*; el super-maxi *Comanche* o los *VO65*, que participaron en la pasada edición 2017-2018 de la *Volvo Ocean Race*.



Ilustración 71. ECsix en el Open60 PRB. Fuente: Vincent Riou

En las empresas de este sector, para estar a la cabeza del mercado hay que estar innovando constantemente, por este motivo, uno de los departamentos donde se invierte más capital económico y humano es el de I+D. En este departamento hay un gran número de ingenieros trabajando para sacar productos cada vez más ligeros, más resistentes, que mejoren las prestaciones, que sean innovadores y sobretodo se estudia cómo reducir los costes de producción sin disminuir la calidad del producto final. En el caso concreto de Future Fibres, en la sede de Valencia tienen más ingenieros e investigadores en plantilla, que técnicos. Esto ejemplifica la gran inversión que se hace en este departamento.

Por último cabe destacar que ningún cable ECsix ha fallado debido a la edad o condiciones meteorológicas en los más de diez años que lleva en servicio. Este record está mantenido tanto por los cruceros como por los barcos de regatas alrededor del mundo y mega-yates. Esto y los tipos de barco en que se instala este tipo de jarcias dan una idea de la gran calidad y prestaciones de este material. Hay que añadir que los barcos con los que se trabajan son los denominados súper yates, lo cual significa que son demasiado grandes y caros como para permitir que algo falle.

5.5.2 ECthree

El ECthree es un derivado del ECsix, este mantiene el proceso y la base de fabricación, pero está hecho con un carbono de una calidad inferior. La única diferencia viene dada por la flexibilidad, que es mayor y el peso, que aumenta un poco en comparación.

Estas jarcias se fabrican hasta barcos de 60 pies y con un máximo de tres pisos de crucetas. A diferencia del ECsix, solamente se puede colocar como jarcia continua. Está diseñado para barcos donde se quiere aprovechar el aligeramiento de peso que proporcionan estos productos y los beneficios en cuanto a disminución del peso del aparejo, pero pueden vivir sin las altas prestaciones que ofrece el ECsix.

Este modelo no está a la venta de cara al público, solo se vende a astilleros que lo soliciten. Cabe destacar el astillero *Nautor's Swan*, el cual tiene un convenio con *Future Fibres* para suministrar a los nuevos *Club Swan50* con jarcia de ECthree.

5.5.3 ECsix Airfoil

Este tipo de jarcias es una evolución de las jarcias de carbono composites de sección circular realizadas por la empresa Future Fibres. Con la intención de realizar una versión de la jarcia ECsix, en 2018³⁶ esta empresa diseñó un modelo donde los rods estuvieran orientados de forma aerodinámica, el problema era que la propia tensión de la jarcia hacia que estos rods se volvieran a unificar formando secciones circulares en vez de elípticas.

Para evitar este problema se diseñó una jarcia con una sección central compacta, que proporcionaba gran resistencia al conjunto, así como la sujeción longitudinal de la sección necesaria para mantener la forma elíptica, posteriormente, alrededor de esta pieza central se situarían los rods hasta acabar de formar la elipse. Finalmente estos serían unidos con resina y cubiertos por una funda para protegerlos.

Entre las propiedades que ofrece este modelo de jarcia es una gran resistencia a la tracción, superior a los otros modelos de la gama EC, debido a que cuenta con una parte de la jarcia que está compactada y no está compuesta por rods, por lo que el área hecha de fibra de carbono es superior a los modelos anteriores. También destacar su mayor rigidez en comparación a los otros modelos constituidos íntegramente por rods, ya que la sección central se opondrá a la flexión, pese que la resistencia a la flexión es inferior, en el supuesto caso de que una flexión excesiva partiera la parte central, los rods externos están diseñados para soportar el esfuerzo de la jarcia hasta la sustitución de esta. Así mismo el peso de esta jarcia también será superior debido a la mayor cantidad de material.

Por último indicar que de este modelo en concreto se encuentra actualmente (Noviembre 2018) en desarrollo, por lo que no se ha encontrado información alguna ni en revistas especializadas, ni en la página oficial de Future Fibres, ni en páginas web sobre jarcias. Las conclusiones extraídas de este modelo se basan en las comparativas que se han hecho con otros modelos de esta misma empresa y

³⁶ Dato proporcionado por *Carbo-Link*

tras entrevistas con miembros del equipo de ingeniería de Future Fibres encargados de su diseño y producción.

5.6 Jarcia de Carbono Compacto

El material base utilizado en las jarcias de carbono compacto es el mismo que en las jarcias de carbono composite, la diferencia principal recae en la disposición estructural, ya que es completamente diferente. Estas son jarcias donde, si se corta la jarcia transversalmente, se observa una sección completamente maciza como se puede apreciar en la Ilustración 72.



Ilustración 72. Sección transversal de la jarcia de Carbono Compacto. Fuente: Carbo-Link

Este tipo de jarcias, pese a no ser las más comunes, existen diferentes empresas que se encargan de producir este producto. Algunas de las empresas provienen del mundo aeroespacial y de la construcción con fibra de carbono, como puede ser Carbo-Link; otras entraron en el mercado de la fabricación de jarcias tras especializarse a lo largo de los años con elementos de la arboladura de carbono, como los palos y botavaras de la empresa Hall Spars & Rigging; finalmente encontramos empresas dedicadas a las jarcias textiles que han evolucionado e investigado hasta llegar a desarrollar su propio producto como la empresa SmartRigging o la más conocida Future Fibres.

Al igual que en las jarcias realizadas de Carbono Composite, las empresas donde se realizan y desarrollan estas jarcias son muy reacias a proporcionar información totalmente abierta a todos los públicos e incluso tras contactar con ellas solamente llegan negativas a las peticiones de información sobre métodos de construcción y materiales, así como cargas de rotura y pesos. Simplemente te redireccionan a la página web oficial.

Por este motivo, los dos apartados siguientes sobre los diferentes diseños de la jarcia de carbono compacto se han realizado con la información general ofrecida en las páginas web de las principales empresas y completándola con la información recopilada de diferentes artículos de revistas especializadas.

Por último señalar que las características expuestas de estas jarcias no serán comunes a todas las empresas, se trata de una mezcla de la información obtenida de los diferentes grupos para ofrecer una visión lo más concreta posible sobre las propiedades y el método de construcción de estas jarcias, referenciando a que empresa se refiere cada parámetro.

5.6.1 SCR

Dentro de este modelo de jarcia, las empresas más representativas del sector, son *Carbo-Link*, *Smart Rigging* y *Hall Spars & Rigging*.

La empresa suiza *Carbo-Link* tiene sus orígenes en la ingeniería civil e industrial de alta tecnología, siendo una derivación de la *EMPA* (Laboratorios Federales Suizos sobre Tecnología y Ciencia de los Materiales). Desde principios de milenio, se ha centrado en el desarrollo y perfeccionamiento de soluciones para el aparejo y nuevos sistemas para mega yates y barcos de alto rendimiento. En cuanto la experiencia en el sector, sus primeros diseños de cables de carbono compacto salieron en 2001, siendo en 2002 cuando el trimarán *Technomarine*, un *Orma 60*, quedó a las puertas del triunfo en la regata *Route du Rhum* llevando algunos de sus cables. Estos grandes avances tecnológicos se han dado en gran medida por la estrecha relación existente entre el equipo *Alinghi* de la Copa América, destacando la confección de la primera jarcia de carbono compacta que se suministró al equipo suizo, ayudándolos en la victoria final de la Copa, pese que el diseño final del barco no lució dicha jarcia debido a las denuncias de otros sindicatos por incumplimiento del reglamento en cuanto a las restricciones de utilizar carbono. Desde esta edición de la Copa América, *Carbo-Link* suministró las jarcias del sindicato suizo, así como fue el único suministrador de jarcias de carbono compacto para los catamaranes AC72 y AC50, así como la estructura de los AC45.

La siguiente empresa es *Smart Rigging*, esta empresa holandesa dedicada en sus orígenes a las jarcias textiles de PBO surgió en 2004 y se ha ido especializando en las jarcias de materiales compuestos con la intención de ofrecer productos cada vez más especializados y que proporcionen un mayor rendimiento. En 2008 empezaron a trabajar con el carbono como materia prima para sus jarcias y un año después, en noviembre de 2009, sacaron su primer modelo de carbono compacto, el *C-evo*. Una de las ventajas que ofrece esta empresa es que no se ha especializado exclusivamente en jarcia de carbono compacto rígido, sino que también suministra jarcias textiles más flexibles para utilizar como burdas. Por lo que una única empresa puede suministrar toda la jarcia firme.

Por último destacar la empresa *Hall Spars & Rigging*, conocida por la fabricación de palos, botavaras y de más elementos de la arboladura de carbono al más alto nivel. Tras tres años de desarrollo, en 2008 lanzó al mercado las jarcias de *SCR Seamless Carbon Rigging*, traducido como jarcia de carbono sin fisuras. Estas surgieron con la idea de crear una jarcia hecha de un material mucho más ligero que la varilla, pero que no fuera tan susceptible a la corrosión como la jarcia textil.

Al igual que en las jarcias de carbono composite, el material primario utilizado es el carbono. Pero la diferencia recae en que las jarcias de SCR no están hechas por un manojo de rods y fibras sueltas que se unen posteriormente mediante epoxi, estas forman una construcción sólida donde todas las fibras están

unidas constituyendo una unidad más resistente. Esta diferencia principal se ve en el método de fabricación utilizado³⁷, que es el siguiente:

1. La fabricación empieza con el pre impregnado de las fibras de carbono con resina, esto hace que sea un proceso más costoso pero de una mayor calidad. El preimpregnado se realiza para que las fibras se mantengan unidireccionales y no se ondulen durante el proceso de fabricación, manteniendo de este modo una resistencia a la tracción superior.
2. A continuación, mediante un proceso controlado por ordenador, un robot dispensa la cantidad de fibras de carbono necesarias para conseguir la rigidez y longitud requerida en el cable. Estas se colocarán unidireccionalmente y con una tensión determinada. La utilización de ordenadores y robots durante estos procesos permiten evitar las pequeñas diferencias entre cables causadas por el factor humano, por lo que los estándares de calidad son superiores.
3. Seguidamente la totalidad del cable es compactado para asegurarse que no queda aire entre las fibras, así como eliminar el sobrante de resina. Esto reduce el diámetro de la sección y asegura que todas las fibras queden bien pegadas entre ellas aumentando la cohesión del conjunto.
4. Una vez se ha compactado el cable hay que empezar el proceso de curación. Durante este proceso se seca la unión de las fibras de carbono con la resina, esto se realiza en una cámara con atmósfera y temperatura controlada, por lo que se ofrece un producto de calidad superior. Este proceso de curación y compactado se da también en la construcción de otros productos de *Hall Spars & Rigging* como son los palos.
5. Cuando se pasa el tiempo de curado, el producto debe pasar unas pruebas de calidad. Los cables son testeados al 150% de la máxima carga de rotura, así mismo, para demostrar la seguridad que ofrece, la jarcia SCR ha de superar los estándares de la sociedad clasificadora noruega *DNV-GL*, la antigua *Germanischer Lloyd's*. Estos se basan en: llegar a la máxima carga de trabajo del cable completando 100.000 ciclos, seguido con un test final donde se determina en que momento el cable rompe y la pérdida de fuerza producida tras los 100.000 ciclos; la otra prueba es la de impacto, después de tensar el cable hasta su máxima carga de trabajo, se dejaba caer sobre este un péndulo con una longitud de un metro con un peso que se dispone en función del diámetro del cable. Como resultado, el peso simplemente rebota sin dañar el cable ni producir ninguna fisura, gracias a las características del carbono en tensión.
En el caso de las jarcias de *Carbo-Link*, estas no solamente superan los estándares para jarcias de veleros que obliga la sociedad clasificadora *DNV-GL*, situada en 10000 ciclos de carga, sino que los superan ampliamente, llegando hasta los 18 millones de ciclos de carga y contando con un factor de seguridad de 2.35 ya que han de cumplir requisitos más rigurosos impuestos por los grandes proyectos de ingeniería civil.
6. Una vez pasado el test satisfactoriamente, el cable es pintado con un barniz protector, este puede ser transparente o a color.

³⁷ Método utilizado por la empresa *Hall Spars & Rigging*

Este método de construcción junto con los materiales utilizados, le otorga al SCR unas características muy concretas y perfectas para barcos que buscan un alto rendimiento, estas características son:

- La diferencia con los otros productos de alto rendimiento, es la gran vida útil que tiene este tipo de jarcias gracias a los materiales y a la técnica con que producen. En general se lleva a cabo el mismo proceso que con los palos de carbono, llegando a usar las mismas resinas y fibras en el caso de *Hall Spars & Rigging* o muy similares en el caso de las otras marcas, con esto se consigue un producto que, virtualmente, puede existir para siempre si se llevan a cabo las revisiones prescritas y se hace un uso dentro de los parámetros establecidos.

Pese a la gran fiabilidad que ofrece, al igual que otros productos, SCR tiene su propio servicio de inspecciones y mantenimiento. Los principales problemas de mantenimiento que se encuentran son de carácter externo, tales como golpes de elementos metálicos que producen pequeñas deslaminaciones.

El mantenimiento consta de una revisión visual completa cada año lleva a cabo por técnicos de *Hall Spars & Rigging*, y una revisión completa de la jarcia cada 5 años, en esta revisión se desmonta la jarcia completamente y se somete a un test por ultrasonidos para comprobar si existen fracturas internas del carbono. El mantenimiento de los primeros 10 años entra dentro de la garantía general ofrecida por *Hall Spars & Rigging*. En el caso concreto de las jarcias de *Carbo-Link*, de fábrica le otorgan una esperanza de vida de 25 años si se lleva un plan de mantenimiento correcto y no se presentan fisuras ni daños irreparables durante la realización de las inspecciones rutinarias.

- Al igual que otros productos con base de carbono, la resistencia en tensión es bastante superior, llegando a superar en casi un 50% las jarcias metálicas en igualdad de diámetro³⁸. Un cable de *Smart Rigging* con un Dash de -76, que equivale a un diámetro de 17.9 mm, tiene una carga de rotura de 43 toneladas, frente a las 34.4 toneladas que resiste una varilla de la empresa *BSI* del mismo diámetro.
- Otra de las ventajas de este producto es la rigidez que tiene debido a las características mecánicas del carbono y la técnica de construcción utilizada, como resultado se obtiene un producto casi inmune a la fatiga elástica y con una fluencia inexistente. Esta extrema rigidez hace que sea un producto idóneo para la jarcia transversal y para los estays, pero ocasiona problemas si se utiliza como burdas o backstay debido a que estos elementos necesitan tener cierta flexibilidad.

³⁸ Según *Hall Spars & Rigging*

- El peso continua siendo una gran ventaja, consigue reducir entre un 70-75% el peso de la varilla metálica convencional³⁹. En el caso de un cable de *Smart Rigging* con un Dash de -76, el peso por metro es de 0.389 Kg, mientras que en una varilla metálica de *BSI* con el mismo Dash, el peso se eleva a los 1.99 Kg, lo que supone una reducción de peso del 80% aproximadamente.
- El precio de este modelo de jarcia es de los más elevados del mercado y solo está al alcance armadores con gran poder adquisitivo. Pese al alto precio que tienen, este se ve compensado con las ventajas que ofrece respecto a sus competidores, en el caso de *Carbo-Link*, las ventajas principales se encuentran en la larga vida útil y que para hacer las revisiones rutinarias no es necesario enviar la jarcia a la fábrica, se puede hacer in situ.
- Una ventaja que no se había comentado hasta ahora es la resistencia al viento, en este caso debido a la compactación de las fibras que componen el cable, que se realiza durante el proceso de fabricación, hace que la sección del cable disminuya, por lo que la resistencia que opone al avance disminuya un 15% en comparación a un cable con la misma resistencia de PBO⁴⁰.
- Por último señalar que las jarcias de *Carbo-Link* al estar hechas de carbono hacen sean poco resistentes a la corriente eléctrica. Esta conductividad del material, hace que el conjunto de palo y cadenotes no se pueda cargar con electricidad estática, con lo que se reduce la posibilidad de que el aparejo pueda ser golpeado por un rayo. En el indeseable suceso de la caída de un rayo, la corriente fluirá a través del cable sin dañarlo y se recomienda hacer una inspección no destructiva de la jarcia para comprobar su estado. En caso deseado, es posible añadir una capa de cobre aeroespacial que reducirá considerablemente la resistencia eléctrica y la posibilidad de que el cable se dañe.

Las ventajas de este producto, en el caso de la empresa Carbo-Link, son claras respecto a su principal competidor, las jarcias de ECsix de Future Fibres. Carbo-Link es una empresa con una gran experiencia en el sector, suministrando cables al más alto desde 1993 y trabajando con jarcias de carbono desde 2001, mientras que la competencia apareció en 2004.

Las jarcias de SCR de Carbo-Link presentan numerosas ventajas respecto al ECsix, destacar las siguientes:

- *Disminución del diámetro en un 20% aproximadamente*
- *Aligeramiento de la jarcia, al no tener funda no se llena de agua*
- *Una capa de resina exterior que la protege de daños e impactos, como no está cubierta por una funda textil de Dyneema no es necesario desmontar y enviar a la fábrica cada vez que se rompe*
- *La jarcia es continua y está completamente integrada mediante el laminado completo como se observa en la Ilustración 73, no hay puntos débiles en la jarcia ni es necesario hacer uniones flexibles en crucetas. Esta unión tan limpia con la cruceta permite reducir el peso de los elementos utilizados, así como proporciona una resistencia al avance inferior*

³⁹ Según *Hall Spars & Rigging*

⁴⁰ Según datos de la jarcia de SCR de *Hall Spars & Rigging*



Ilustración 73. Fusión del obenque alto con el diagonal en la jarcia continua de Carbo-Link en el terminal de la cruceta. Fuente: Propia

- *Las inspecciones son menos costosas debido a que no hay que quitar ninguna funda para ver el material y se pueden hacer a simple vista y sin necesidad de desmontar el palo*
- *Al ser carbono laminado, las reparaciones son similares a las que se realizan en los cascos de los barcos. Según en qué reparaciones, el equipo de Carbo-Link las puede hacer con el mástil en su sitio.*
- *Resistencia a la luz ultra violeta, el alto módulo del carbono, lo hace inmune a los rayos UV, con lo que no se necesitan fundas protectoras ni pinturas especiales; tampoco se ve afectado por la abrasión de las escotas y similares.*
- *La gran reducción de costes gracias a la larga vida útil de estas jarcias, unos 25 años, unido a que no hace falta enviar a fábrica cada tres o cuatro años la jarcia a revisar completamente. Se puede monitorizar el estado de salud de la jarcia mediante pruebas no destructivas.*

Al igual que su competidor más cercano, el ECsix, contiene una gran resistencia a impactos por las características mecánicas del carbono, con lo que absorbe los golpes sin ocasionar fisuras, también es inmune a la compresión, ya que el cable simplemente se doblaría, aligerando de este modo la sobrepresión.

También cabe destacar que los terminales utilizados son de titanio, esto impide que se creen reacciones de electrolisis como las producidas entre el carbono y terminales de aluminio o acero inoxidable. Así mismo, los terminales de titanio son más compactos y un 50% más livianos.

Por último es necesario recordar que a misma carga de rotura, la compactación del carbono reduce la resistencia al viento un 20%. Esto no puede ser muy significativo en barcos de crucero, pero en los veleros regata donde se instalan este tipo de jarcias, cada detalle cuenta y es una ventaja de cara a otros competidores, ya que son veleros que participan en circuitos profesionales a un nivel muy alto.

Como desventaja, únicamente se puede nombrar el alto precio de este tipo de jarcias, haciéndolo inalcanzable para armadores con un presupuesto medio. Esto en si no se considera una desventaja ya

que está enfocado al sector de la alta competición y los mega-yates, en este sector el precio es un factor que se tiene en cuenta, pero prima el alto rendimiento que ofrece.

El modelo SCR de la marca Hall Spars & Rigging ha sido instalado en todo tipo de barcos al más alto nivel i en un rango de esloras muy amplio, el barco más pequeño donde se ha instalado es un Evelyn32 llamado Bluto y el más grande un Baltic112 llamado Nilaya. Esto demuestra la gran versatilidad de dicho producto.



Ilustración 74. Backstay de SCR. Fuente: Propia

5.6.2 SCR Airfoil

Dentro de esta evolución de las jarcias SCR, las empresas más representativas en el sector son *Carbo-Link*, *Future Fibres* y *Hall Spars & Rigging*. Todas estas empresas disponen de un producto el cual no cuenta con una sección circular.

La empresa con más antigüedad en el sector, *Carbo-Link*, sacó a la luz en 2010 su modelo de jarcia CL Ellipse, que como su nombre indica era de sección elíptica, esta se diseñó exclusivamente para el catamarán del sindicato suizo, el *Alinghi 5*, este debía defender la Copa América ese mismo año, como

curiosidad añadir que en esta jarcia se le introdujo fibra óptica en su interior, con la intención de medir las cargas mediante diferentes sensores. Posteriormente esta jarcia fue evolucionando y arbolando diferentes barcos, entre los que destacan los *Maxi72 Momo* y *Cannonball* y el nuevo *Baltic 142* que será botado en marzo del 2019⁴¹.

Otra de las empresas ha sido *Future Fibres*, esta empezó sus estudios en 2016 con el nuevo modelo RAZR, instalándolo en tan solo dos barcos de la flota de *TP52*, con la intención de ir afinando el producto. El siguiente año, en 2017 suministró a un tercer barco y en la temporada 2018 está suministrando esta nueva jarcia a los 9 barcos de nueva construcción que han entrado en las *52 Super Series*. Este producto se ha hecho en estrecha colaboración con *Southern Spars*, la empresa encargada de hacer la arboladura de estos barcos.

Por último, la empresa *Hall Spars & Rigging*, un año después de la salida al mercado de la jarcia SCR sacó a la venta en 2009 un nuevo diseño de su producto. Este producto se trata de una derivación de la jarcia de carbono SCR pero con un perfil aerodinámico en vez de redondo. Para este nuevo diseño simplemente se utilizó el sentido común, los cascos, orzas y timones de los veleros tienen formas que favorecen la dinámica de los fluidos por los que se mueven, intentando disminuir al mínimo las turbulencias que causan, con estas jarcias hicieron lo mismo.

Este rediseño no se trata de una gran revolución a nivel mundial, ya que durante la Copa América de 1958 los barcos de la clase 12 Metros empezaron a utilizar jarcias de varilla metálicas aplanadas, ofreciendo una sección elíptica, mucho más aerodinámica que la circular y reduciendo la resistencia al avance. Teniendo en cuenta que una de las propiedades del carbono es la facilidad de ser moldeado, el equipo de I+D de *Hall Spars & Rigging* se centró en diseñar un perfil aerodinámico mucho más favorable que una simple elipse. El resultado obtenido fue una jarcia de carbono compacto con una forma perfilada, esta en vez de tener forma de elipsis se caracterizaba por tener una sección con una forma aerodinámica, como se ve en la Ilustración 76, este hecho reduce considerablemente la resistencia que opondría al avance navegando con vientos fuertes de proa. En la Ilustración 75 se puede ver la vista frontal y de perfil de esta jarcia, en este caso concreto la jarcia estaba montada en el *Gazprom*, un *Swan 60*.

⁴¹ Según el artículo *Keep Moving* de la revista especializada *Seahorse Magazine*/ Noviembre de 2018 Nº137



Ilustración 75. Vista de perfil y frontal de la jarcia SCR Airfoil de *Hall Spars & Rigging*. Fuente: Propia

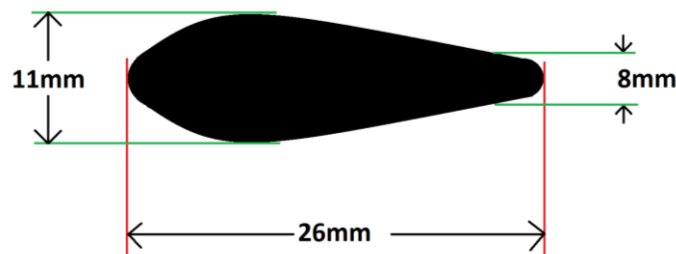


Ilustración 76. Medidas de la sección de una jarcia SCR Airfoil. Fuente: Propia

El proceso de fabricación de la jarcia SCR Airfoil y los materiales usados son iguales que en los productos homólogos de sección redonda de cada empresa, la diferencia únicamente se encuentra en el paso 3 que se ha visto en el método de construcción de la jarcia de carbono compacto. En este paso la jarcia se compacta dándole la forma deseada para una mejor aerodinámica, de este modo las fibras son reorientadas obteniendo una sección alargada como se aprecia en las ilustraciones anteriores.

En cuanto a las propiedades y características de este modelo de jarcia, cabe destacar que ofrece exactamente las mismas que en la jarcia SCR. La única diferencia estaría en la reducción de la sección frontal, esto aporta unas mejoras aerodinámicas que no son para nada despreciables y se verán a continuación.

Para tener una idea sobre cómo afecta sobre el campo de regatas este tipo de sección, se diseñó un programa informático donde se introdujeron todos los datos y parámetros de dos veleros idénticos. Uno de ellos con jarcia SCR y otro con SCR Airfoil. El resultado fue contundente. En una regata virtual

barlovento-sotavento de 4 millas, el barco que disponía de la jarcia SCR Airfoil, quedaba 7 esloras por delante del otro⁴².

Paralelamente y con la intención de obtener los parámetros reales y cuantificar cuales son los beneficios de esta jarcia respecto a las demás, se encargó un estudio a la Universidad de Michigan donde se realizaron los primeros estudios en conjunto con la universidad Auckland que cedió el túnel de viento. Estas universidades demostraron que la eficacia de este tipo de jarcias era mucho mayor de lo que se pensaba. Para acabar de complementar estos resultados se compararon tres tipos de jarcia, la SCR Airfoil, SCR y la jarcia de PBO.

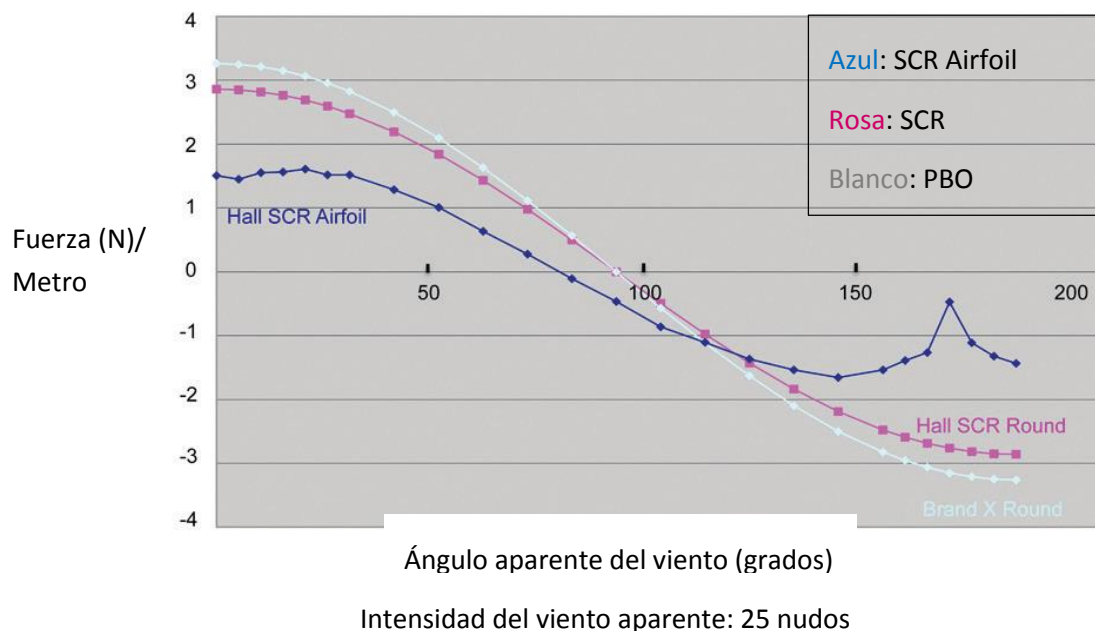


Tabla 10. Comparativa de tres tipos de jarcias con diferentes secciones. Fuente: Hall Spars & Rigging

Este estudio se realizó en un túnel de viento con una intensidad de 25 nudos, el ensayo se realizó con tres muestras de jarcia, de un metro cada una y con la misma carga de rotura. Las muestras se colocaron en el túnel de viento y se iban rotando para simular los distintos ángulos de viento aparente (AWA), el viento aparente iba de 0°, cuando venía de proa; hasta los 180°, cuando venía por la popa. Por último se medía la resistencia que oponía el cable en cada ángulo, esto era expresado en *N/m* (*newton por metro*).

En la Tabla 10 se plasman los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, de esta tabla se pueden sacar las siguientes conclusiones principales:

- En vientos de proa la jarcia SCR ofrece aproximadamente una resistencia un 15% inferior que el PBO y en el caso de la SCR Airfoil, este descenso llega a ser de un 50% en comparación con la SCR normal.

⁴² Dato suministrado por la empresa Hall Spars & Rigging

- *El SCR ofrece menos resistencia que el PBO debido simplemente a que en igualdad de carga de rotura tiene un diámetro inferior, por lo que las alteraciones se producen igualmente.*
- *Las jarcias con sección circular dejan de frenar y empiezan a producir empuje a partir de los 90° de viento aparente, momento en que el viento deja de venir del cuadrante de proa, frenando y empieza a venir de popa, empujando. En este momento ofrece mayor empuje la jarcia con sección mayor, ya que el viento incide en una mayor superficie. Por el contrario, la jarcia de SCR Airfoil, empieza a producir empuje sobre los 78° de ángulo de viento aparente.*
- *En ángulos pasados los 90°, la jarcia SCR Airfoil sigue produciendo un empuje superior a las secciones circulares hasta los 125° aproximadamente. A partir de este punto el empuje es inferior que en los caso anteriores. Que el empuje por encima de 125° sea inferior no supone un problema, ya que las altas velocidades de los barcos donde se instala este tipo de jarcias, hacen que en pocas ocasiones el ángulo del viento aparente sea superior a estos 125°. Por lo que no existe pérdida alguna.*
- *A niveles de estudio del flujo del aire alrededor de las jarcias de SCR Airfoil, como se puede apreciar en la Tabla 10, la condición más desfavorable de esta es cuando el viento incide con un ángulo de 25°. En este caso la turbulencia producida es máxima, como se puede observar en la Ilustración 77 se crea un cono de baja presión a sotavento de la sección, pero rápidamente es llenado hasta hacer la turbulencia menos apreciable. Pese a ser el ángulo más desfavorable, la ventaja de la jarcia SCR Airfoil es de un 40% respecto a su homólogo de carbono SCR.*

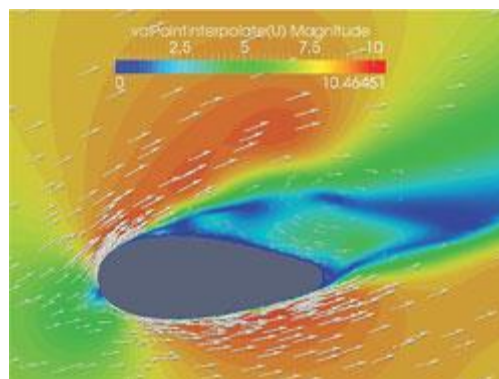


Ilustración 77. Comportamiento aerodinámico a 25° de AWA de la sección transversal de SCR Airfoil. Fuente: Hall Spars & Rigging

Otro de los objetivos que se buscaban con el diseño de las jarcias con sección aerodinámica es eliminar un problema de vibración muy acusado que se da en las jarcias que disponen de una sección circular este problema que ocasiona molestias y perdidas de rendimiento es más consistente cuanto mayor es la intensidad del viento.

Debido a la aerodinámica de la sección, la turbulencia que se produce en una jarcia de sección circular fue descrita y formulada por Theodore *Von Karman* en 1911. En ella se explicaba la formación de dos filas de remolinos de bajas presiones a sotavento de la sección, estos se formaban alternadamente en sentido horario y anti horario perdurando en el tiempo hasta que se diluían conforme se alejaban del origen como se aprecia en la Ilustración 78 y la Ilustración 79.

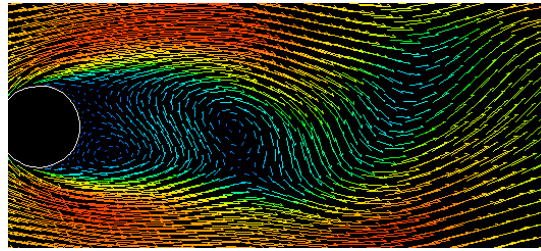


Ilustración 78. Comportamiento aerodinámico de una sección circular. Intensidad de viento media. Fuente: Lionel Espeyrac

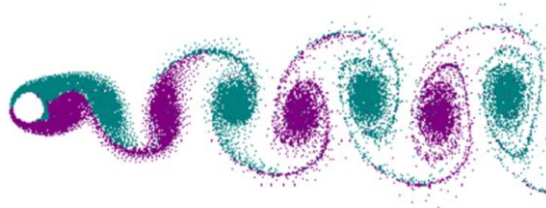


Ilustración 79. Vórtices de von Karman en el comportamiento aerodinámico de una sección circular. Intensidad del viento alta. Fuente: Revista del Aficionado a la Meteorología

Los vórtices de Von Karman aparecerán en una estructura cilíndrica, como las jarcias, si el número de Reynolds se encuentra entre $47 < Re < 10^7$. Este valor dependerá del diámetro (d) del cilindro que opone resistencia, de la velocidad (v) constante del flujo y de la viscosidad (ν) de este. Por lo tanto responderá a la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{v * d}{\nu}$$

Teniendo en cuenta que para una misma jarcia, el diámetro es siempre igual i que la variación de la viscosidad del aire en función de la temperatura se considera despreciable. Se puede decir que la aparición de vórtices de Von Karman será más acusada cuanto mayor sea el viento que haga la tensión del cable.

Debido a la gran amplitud de valores para el número de Reynolds que provocaran estos vórtices, estos aparecerán en mayor o menor medida en todas las condiciones de viento. Solamente desaparecerán cuando el viento sea nulo. Este fenómeno se puede experimentar paseando por el puerto un día ventoso, las jarcias de los veleros emiten un silbido característico producido por esta vibración.

Algunos fabricantes, como *Carbo-Link*, disponen de un producto llamado *Damper*, esto se trata de un cilindro de material composite que se coloca alrededor del cable. Para que reduzca al mínimo la vibración se deben seguir una serie de pautas:

- Identificar los cables que están vibrando correctamente, esto se consigue escuchando atentamente el sonido que emiten y tocando cada uno de los cables para ver si vibran.
- Una vez identificado en el departamento de ingeniería se confecciona un *Damper* adecuado al tipo de cable, diámetro, longitud y peso.
- Se instala el *Damper* asegurándolo al cable mediante dos tornillos en cada extremo, quedando el cable atrapado en su interior.

- Se debe colocar en una posición donde las oscilaciones del cable sean más altas, es decir, se debe situar a más de dos metros de cualquier nodo fijo, como los terminales finales del cable.
- Una vez colocado se realizarán pruebas para, en caso necesario, moverlo y situarlo en el lugar más conveniente para aumentar la eficacia.

El funcionamiento de este cilindro se basa en que su estructura lo hará vibrar con una frecuencia diferente a todo el cable, por lo que evitará las oscilaciones armónicas y la resonancia. Así mismo, absorberá la energía del cable disipándola hasta hacerla inapreciable. Los *Dampers* se suelen ver principalmente en los backstays o en los obenques de veleros sin crucetas, es decir en cables que han de soportar grandes tensiones y la longitud entre los puntos de sujeción es elevada.

Con la introducción de las jarcias SCR Airfoil el área frontal del aparejo de un Maxi72 se reduce en 0.8 m². En un Wallycento con jarcia SCR, el área frontal ocasiona un coeficiente de resistencia de unos 30 Kg en un viento aparente de 22 nudos, si este mismo estuviera aparejado con jarcia SCR Airfoil, el área se reduciría 1.5 m², este valor traducido en el coeficiente de resistencia sería una reducción de 12 Kg. Este valor puede parecer insignificante para un barco de 100 pies, pero traducido a valores más comprensibles. Estos 12 Kg reducidos en un velero navegando a 9.5 nudos de velocidad, serían equivalentes a arrastrar por la popa un cabo trenzado de 14 mm⁴³.

Estos valores son en veleros monocascos, en multicascos hay que tener en cuenta que el coeficiente de resistencia varía al cuadrado de la velocidad aparente del viento, debido a las altas velocidades que alcanzan, por lo que las diferencias entre SCR y SCR Airfoil son más pronunciadas. También señalar que en multicasco con palos orientables que tengan diamantes, en condiciones de viento suave la jarcia con sección aerodinámica tiene un coeficiente de resistencia casi inexistente.

Otra de las ventajas que ofrece la estructura aerodinámica es que elimina las bajas presiones y las turbulencias a sotavento de la jarcia y las vibraciones desaparecen con lo que no solamente se gana en eficiencia sino también se produce una mejora notable en la habitabilidad de los barcos. Cabe recordar que uno de los principales problemas que afectan a los navegantes oceánicos durante las regatas offshore, son las molestas vibraciones que se producen en la jarcia en condiciones de viento fuerte, estas vibraciones se transforman en un ruido infernal que complica la conciliación del sueño entre guardias, con la consiguiente repercusión en la fatiga del navegante.

El primer barco que aparejado con jarcia SCR Airfoil fue el Alegre un Mills68. Este barco dominó durante la temporada 2010 con pódium en las siguientes regatas: Rolex Maxi Regatta, Copa del Rey, la Giraglia Cup, Rolex Capri Week, Regate Pirelli y Palma Vela. En 2011, volvieron a ganar la Giraglia Cup y Palma Vela, así como un tercer puesto en la Rolex Middle Sea Race. Por su parte, la empresa Future Fibres, en conjunto con la empresa Southern Spars, proporcionará su modelo RAZR a los equipos participantes en la 36ª Copa América.

⁴³ Datos sacados de la revista *Seahorse*, escrito por *Hall Spars & Rigging* en julio de 2016

Por último destacar que las jarcias con perfil aerodinámico, están aún lejos de ser un producto capaz de ser fabricado en serie. Cada nuevo encargo que se realiza requiere un minucioso estudio del barco donde se debe instalar y en qué posición exacta, este estudio es llevado a cabo por los departamentos de ingeniería y desarrollo que determinarán que características y composición debe tener el cable

Con esto se consigue un de las mejores jarcias del mercado, un producto muy exclusivo que solo está al alcance de muy pocos, quedando demostrado por el nivel de los barcos donde ha sido instalada.

5.6.3 CL Hybrid

Las jarcias de carbono compacto ofrecen el máximo de ventajas posibles gracias a su composición, permitiendo su utilización en la mayoría de la jarcia gracias a las cualidades que aporta y que se han visto en capítulos anteriores.

El principal problema que tienen es que son muy rígidas y no pueden ser dobladas en exceso, por lo que su utilización en backstays y burdas no es aconsejable, dando como resultado que en muchos barcos se deben optar por opciones más flexibles y con una vida útil más corta para dichos elementos.

De cara a solucionar este problema, la empresa suiza *Cabro-Link* en 2007 lanzó al mercado un producto que había sido testeado con anterioridad en la Copa América, este se trataba de una jarcia que ofrecía todas las ventajas de la jarcia de carbono compacto rígida, tanto Airfoil como redonda, pero con unas secciones flexibles en los lugares donde la jarcia se debe doblar, como los apoyos de los deflectores o donde la botavara puede doblar el cable.

La jarcia CL Hybrid es un cable continuo de carbono sin uniones ni juntas, en la mayoría de la longitud está construido como en los casos anteriores. La diferencia recae en que en las partes que debe ser flexible el cable está curado en un manojo de rods, como en el caso de las jarcias de carbono composite, por lo que se permite cierta libertad de movimiento de los rods y flexan como se requiere. En la Ilustración 80 se puede ver un backstay doble y donde se sitúan las partes flexibles, coincidiendo con los deflectores.

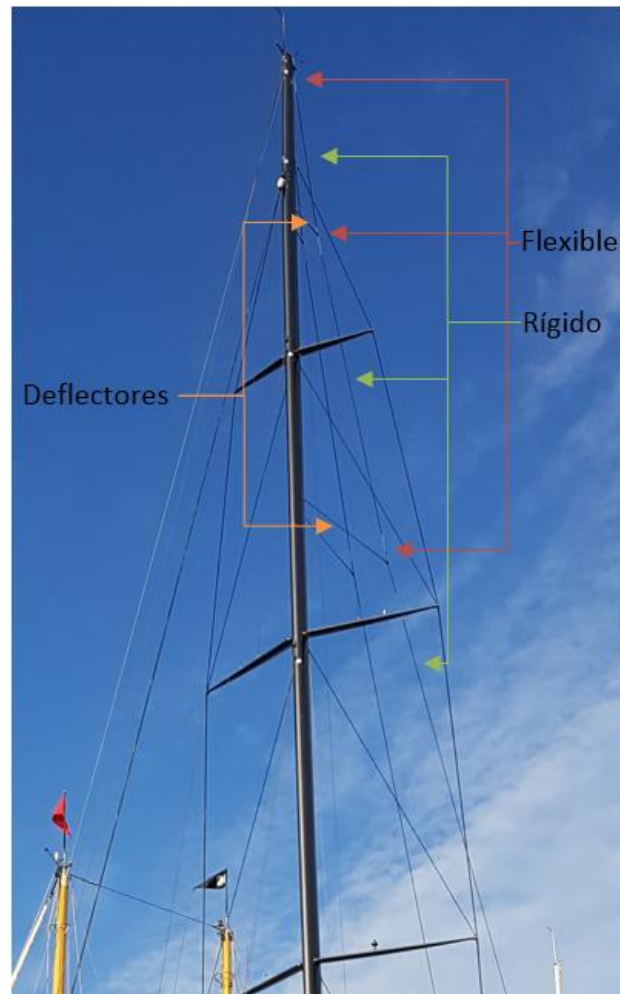


Ilustración 80. Backstay doble de CL Hybrid. Fuente: Propia

La principal ventaja que comporta este tipo de jarcia híbrida es la capacidad de adaptarse a los diferentes sistemas y elementos de la arboladura que provocan una flexión excesiva. Esto permite evitar tener que cambiar a otro tipo de jarcia más flexible como pueden ser las de carbono composite, PBO o Dyneema, con una vida útil bastante inferior.

Sacar al mercado este tipo de jarcias ha supuesto que los barcos de más alto nivel no tengan que optar por opciones que ofrecen menos prestaciones, así como optar por un único suministrador para toda la jarcia firme del barco. Con esto también se simplifican las revisiones periódicas, que solamente son llevadas a cabo por parte de un único equipo.

5.7 Propiedades de los materiales de la jarcia según tipo de barco y navegación

En este capítulo se expondrán los diferentes materiales analizados anteriormente y se hará una tabla comparativa simplificada de las propiedades que otorga cada material a igualdad de resistencia a la tensión y, en la siguiente tabla, su adecuación a los cuatro tipos de navegación hechos anteriormente en

la Tabla 9, recordamos que eran navegación de crucero, navegación de crucero-regata, regatas inshore y regatas offshore.

Se calificará cada material con una puntuación que irá de (- - -), como muy poco satisfactorio; hasta (+++) indicando que cumple todos los requisitos.

En esta primera tabla se comparan esquemáticamente las principales propiedades que se han expuesto y analizado anteriormente en profundidad, dando como resultado la siguiente tabla:

	Elasticidad	Peso	Vida útil	Área frontal	Flexibilidad	Precio
Cable rígido	- - -	- -	+	- - -	- -	+ + +
Compact Strand	- -	- -	+	- -	- -	+ +
Varilla	+	- - -	-	-	- - -	+
PBO	+	+ +	- - -	-	+	- -
Dyneema	+	+ + +	+	-	+ + +	-
ECsix	+ +	+ +	+ +	+	+ +	- - -
ECthree	+	+ +	+ +	+	+ +	- -
ECsix Airfoil	+ +	+	+ +	+ +	+	- - -
SCR	+ + +	+ +	+ + +	+ +	- - -	- - -
SCR Airfoil	+ + +	+ +	+ + +	+ + +	- - -	- - -
CL Hybrid	+ + +	+ +	+ + +	+ + +	+ +	- - -

Tabla 11. Calificación de los materiales de la jarcia según diversos parámetros. Fuente: Propia

A continuación se presenta una tabla con los mismos tipos de jarcia analizados, se aconseja el uso de una u otro tipo de jarcias según el tipo de navegación que realice el velero donde se debe instalar. La tabla con las jarcias más y menos recomendadas queda de la siguiente manera:

	Crucero	Crucero regata	Regata inshore	Regata offshore
Cable rígido	+++	++	---	---
Compact Strand	++	+++	-	---
Varilla	-	+	+++	---
PBO	---	-	++	++
Dyneema	-	+	++	++
ECsix	---	---	+	+++
ECthree	--	-	++	++
ECsix Airfoil	---	---	+	++
SCR	---	---	+	+++
SCR Airfoil	---	---	+	+++
CL Hybrid	---	---	+	+++

Tabla 12. Comparación de los materiales de la jarcia según tipo de navegación. Fuente: Propia

Esta tabla se ha realizado recopilando la información que aparece en cada tipo de jarcia y se ha completado con criterios propios a raíz de trabajar con las jarcias, el contacto que se ha tenido con los materiales que se citan, así como los barcos donde están instaladas cada tipo de jarcia. Por este motivo y debido a que cada barco es un mundo y se pueden hacer infinitas posibilidades, puede haber variantes dentro de cada grupo.

Las variaciones más importantes se encontraran en el grupo de regatas inshore, se observa como la mayoría de las jarcias cuentan con valores bastante altos, en comparación a otras columnas. Esto es debido a que se han agrupado gran variedad de barcos como son los que competirían, por ejemplo, en una Copa del Rey de Palma. En esta regata hay muchos equipos profesionales, pero también los hay de amateur o que no se dedican al 100% al mundo de la vela, por lo que hay gran variedad de jarcias según el nivel y presupuesto que tengan estos equipos.

Como grupo de regata offshore se entiende a veleros diseñados para hacer regatas de altura y regatas inshore o costeras en el más alto nivel, estas regatas irían desde una Vendée Globe, hasta una Copa

América pasando por las 52 Super Series. Por este motivo en este grupo se buscan las cualidades más altas de los materiales menospreciando factores como el económico.

Por último, en los mega yates ya sean para crucero como para regatas, cada vez se está optando por diseños más livianos para los aparejos, esto es debido a que aparejos más livianos permiten barcos con menos lastre y con los pesos más centrados, haciendo que los momentos de cabeceo disminuyan. Este factor se puede ver claramente en el barco Mirabella V, tras cambiar la jarcia de varilla por jarcia de carbono compacto de su palo de 88.5 metros de altura, se ahorraron 18 toneladas de peso que estaban situadas por encima del centro de gravedad⁴⁴, no solamente influyendo en los movimientos dinámicos sino que también en la estabilidad transversal.

⁴⁴ Dato sacado de la revista digital *RiggingNews*, proporcionado por Carbo-Link en septiembre de 2013

Capítulo 6. Mantenimiento de la jarcia firme

Entre los factores más importantes y repetidos a la hora de elegir un modelo de jarcia firme está la vida útil de esta. Las compañías fabricantes ofrecen un cierto valor orientativo sobre la esperanza de vida de la jarcia y los periodos entre revisiones, pero siempre indican que hay que llevar un cuidado general de la jarcia. Esto es debido a que la vida útil de la jarcia firme depende en gran medida del mantenimiento que se lleve a cabo, sea cual sea el material que la compone. Si se lleva un correcto mantenimiento, la vida útil se puede alargar, mientras que si se abandona completamente y no se realizan revisiones periódicas la esperanza de vida puede verse acortada drásticamente, incluso por debajo de las especificaciones de fábrica. Especialmente en la náutica recreativa, se exceden los periodos de revisión y los límites de vida máxima, por lo que los accidentes debido a fallo de la jarcia suelen ser bastante comunes.

Cuando se habla de mantenimiento de la jarcia firme, no solamente hay que centrarse en los cables, existen diferentes partes que van muy ligadas con el estado general de la jarcia y si no están en condiciones también se pueden dar fallos estructurales. En este capítulo, también se hará referencia a otros elementos importantes como son los terminales y cadenotes.

6.1 Periodos de inspección y revisión recomendada

Las inspecciones del palo y jarcia se deben llevar a cabo de manera regular y con un programa basado en el tipo de barco que vendrá definido según el desplazamiento y el estilo de navegación. La sociedad de clasificación *DNV.GL*, en conjunto con empresas proveedoras de palos y jarcias, realizó una clasificación de los tipos de yates. Los barcos en cada categoría tenderán a experimentar condiciones de utilización, recorrido de millas y navegación similares. Por este motivo, los intervalos de inspección recomendados variarán según la categoría en la que se encuentre el barco. Las categorías serán las siguientes:

Categoría I y II

Son por lo general veleros de gran desplazamiento, grandes yates *one-off* o superyates, debido a que tienden a acumular muchas millas de navegación que los barcos de competición, los criterios que se aplican para realizar las inspecciones son diferentes. La principal diferencia es que la esperanza de vida de las jarcias se considera mayor ya que se diseñan jarcias con una longevidad superior.

La longevidad va ligada a que por regla general, estos barcos no curvan sus palos para trimar las velas, por lo que las jarcias se fuerzan menos. Como no se requieren jarcias que ofrezcan mejores

propiedades, muchos de estos barcos utilizan terminales de ojo o de bola con cazoleta que, pese a que son más pesados que los de competición, proporcionan una mejor posibilidad de alineación cuando están bajo carga. En estos casos, los esfuerzos de curvatura son mínimos y el fallo se suele producir debido a la fatiga por tracción.

Los fallos de fatiga por tracción suelen ocurrir después de más ciclos de carga en comparación a los fallos de fatiga por curvatura. Pese a que pueden aguantar más ciclos de carga, hay que tener en cuenta que los superyates navegan anualmente entre 15000 y 30000 millas, por lo que se eleva la posibilidad de fallo.

Categoría III y IV

En estas categorías se encuentran los barcos de desplazamiento ligero y ultraligero. A diferencia de los anteriores, a estos se les da una mayor curvatura del palo, utilizándose jarcias de un diámetro inferior y factores de carga superiores. Estos aumentos de cargas de trabajo provocan que la carga que ha de soportar la jarcia a veces sobrepase la carga de trabajo segura SWL indicada por el fabricante, ya que no es de extrañar que los barcos de competición operen sobre el 45 y 50% de la carga de rotura del material.

Esto provoca que la vida útil de la jarcia disminuya y que sea necesario un mayor control en las revisiones periódicas del aparejo. Una buena revisión puede detectar a tiempo pequeños defectos en la arboladura que podrían provocar fallos estructurales.

6.1.1 Inspecciones recomendadas

Las inspecciones se deben realizar periódicamente y siguiendo unas pautas que vendrán regidas por el tiempo entre revisiones. Básicamente se recomiendan tres niveles de inspección, estos están recomendados por diversas compañías como *Carbo-Link* y *Sailing Solutions* y se aplicarán según la categoría del barco y el tiempo que el barco lleva en funcionamiento como se verá más adelante.

Nivel A: Inspección con el palo en su sitio
<ul style="list-style-type: none"> • Inspección visual del palo en general • Comprobación de herrajes, terminales, jarcia firme, roldanas, crucetas, jarcia de labor, base del palo, aparejos y cadenotes • Buscar de manera visual fisuras, picaduras, corrosión, puntos de óxido y la alineación correcta de los herrajes • Sustitución de los elementos en mal estado • Registrar el servicio realizado y programar los puntos débiles a revisar en la siguiente revisión

Tabla 13. Revisión de la arboladura Nivel A. Fuente: Carbo-Link

Nivel B: Inspección con el palo sin tensión
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una inspección previa siguiendo los pasos del nivel A para tener una idea del estado general • Retirar las cuñas del palo, tanto de la base como de la fagonadura en palos pasantes para que

- el palo se mueva libremente sin tensión
- Comprobar si existen curvaturas y deformaciones en los cables
 - Revisar y lubricar todos los herrajes accesibles
 - Sustitución de los elementos en mal estado
 - Trimar de nuevo el palo para dejarlo en su estado óptimo
 - Registrar el servicio realizado y programar los puntos débiles a revisar en la siguiente revisión

Tabla 14. Revisión de la arboladura Nivel B. Fuente: Carbo-Link

Nivel C: Mantenimiento completo con el palo desarbolado
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una inspección previa siguiendo los pasos del nivel A para tener una idea del estado general • Desarboladura del palo • Desmontar completamente el palo y sus elementos • Inspección visual de los elementos que incluye una limpieza y pulido de la jarcia y elementos para localizar puntos de fallo como fisuras y óxido • Realizar pruebas no destructivas llevadas a cabo por profesionales como: líquidos penetrantes, ultra sonidos, rayos X y pruebas de corriente parásita • Inspección visual de todas las jarcias textiles • Realización de reparaciones según se requiera: volver a prensar o sustituir cualquier elemento del aparejo • Arbolar el palo • Trimar el palo para dejarlo en su estado óptimo • Registrar el servicio realizado y programar los puntos débiles a revisar en la siguiente revisión

Tabla 15. Revisión de la arboladura Nivel C. Fuente: Carbo-Link

Estas inspecciones se deberán hacer dentro de un periodo de tiempo de acorde a la categoría de embarcación que se trate.

	Categoría I y II	Categoría III y IV
Nivel A	2 veces al año mínimo (una de ellas antes de la temporada estival a poder ser)	2 veces al año mínimo (una de ellas antes de la temporada de regatas y otra a mitad)
Nivel B	Una vez al año, pero sin superar los dos años entre inspecciones ni las 20000 millas navegadas entre intervalos	Una vez al año, pero sin superar los dos años entre inspecciones ni las 20000 millas navegadas entre intervalos
Nivel C	Una vez cada 4 años, pero sin superar los 6 años o las 60000 millas navegadas	Una vez cada dos años, pero sin superar 3 años o 40000 millas entre intervalos de inspección

Tabla 16. Comparativa de inspecciones entre categorías. Fuente: Carbo-Link

6.2 Mantenimiento de la jarcia de cable inoxidable

Como jarcia de acero inoxidable entenderemos las jarcias de cable rígido y las de compact strand, estos dos modelos, pese a que tienen ciertas propiedades diferentes, siguen un programa de mantenimiento similar, ya que de fábrica les dan la misma vida útil y tienen una composición similar. La esperanza de vida media de la jarcia de cable ronda los 12 años, pero depende de valores como la temperatura y la salinidad.

Factores climáticos	Situación geográfica	Esperanza de vida recomendada
Temperatura y salinidad elevada	Entre trópicos de Cáncer y Capricornio, Mar Mediterráneo y Caribe	De 5 a 10 años
Temperatura y salinidad media	De los trópicos hasta los 45°N y S	De 10 a 15 años
Temperatura y salinidad baja	De los 45°N y S hasta los Polos	De 15 a 20 años

Tabla 17. Tabla comparativa de la esperanza de vida de las jarcias de cable. Fuente: Sailing Solutions

Cuando se inspeccionan cables de inoxidable, es importante buscar señales de corrosión, oxido, melladuras y grietas. Uno de los puntos críticos de los cables son los terminales, debido a que el agua desciende por el cable y se acumula en los terminales. La revisión de los terminales variará según sean prensados o manuales.

6.2.1 Terminales

Dentro de los barcos con jarcias metálicas existen dos modelos de terminales, estos pueden ser prensados o manuales.

Terminales prensados

Estos terminales son los que existen mayoritariamente en los barcos de recreo debido a su bajo precio, consisten en introducir el cable dentro de la abertura del terminal y mediante una máquina prensarlo, con lo que el cable queda fijado sólidamente.

Una de las características que presentan los terminales prensados es una línea de rebaba a cada lado del terminal debido a que la prensa solo actúa en los extremos de este, en ocasiones se suele volver a prensar el terminal para eliminar dichas rebabas. La eliminación de la rebaba volviendo a prensar produce un endurecimiento del material y aumenta la posibilidad de aparición de grietas por el aumento de fragilidad que produce la dureza. Estos terminales también favorecen la aparición de corrosión, como grietas y óxido, ya que al ser prensados puede aparecer micro pliegues en el acero.

Cuando se revisan los terminales prensados hay que centrarse en el exterior, que no haya ninguna grieta evidente y sobre todo al borde interior de donde sale el cable, observando que no existe ninguna fisura ni corrosión excesiva como se muestra en la Ilustración 81.



Ilustración 81. Fisura en el borde de un terminal prensado. Fuente: Propia

Dependiendo del método utilizado durante la prensa del terminal al cable, las condiciones ambientales y de esfuerzos que ha soportado la jarcia, estas fisuras pueden llegar a aparecer en dos años si no se lleva un buen cuidado. Para las revisiones se recomienda hacer una prueba de líquidos penetrantes, esta es una prueba no destructiva que consiste en aplicar un líquido colorado sobre el material a testear, si existen grietas o discontinuidades el líquido se introducirá por capilaridad en estas grietas, posteriormente se eliminará el sobrante y se aplicará un relevador que remarcará las zonas donde se encuentra dicho líquido.

Terminales manuales

Estos terminales, pese a ser de mejor calidad, no están tan extendidos como los anteriores debido a su precio elevado. Están hechos de acero inoxidable de calidad 316 y ofrecen mejores garantías que los anteriores, ya que al no estar prensados el material no se endurece volviéndose frágil.

Se llaman manuales ya que para instalarlos no es necesario la utilización de maquinaria pesada como las prensas, simplemente hacen falta dos llaves inglesas y fijador, preferiblemente *Loctite 241*.

Dentro de los terminales manuales se encuentran dos modelos principales, los que utilizan como interior y los que utilizan mordazas:

- Cono interior: En estos terminales el cable queda sujeto dentro debido a que entre los hilos se le introduce un cono metálico, el cual hace aumentar el diámetro del cable haciendo que por geometría sea imposible que se escape del terminal. Este modelo de terminal manual es el más común por la seguridad que otorga. Así mismo, el terminal generalmente tienen una esperanza de vida mayor que el cable, por lo que si el terminal no presenta daños, se podría reutilizar sustituyendo los conos interiores.



Ilustración 82. Terminal manual con cono. Fuente: Propia

- Mordazas: en este modelo de terminal, el cable queda sujeto mediante unas mordazas que se encuentran dentro del terminal, estas están situadas alrededor del cable y cuando el terminal se

enrosca, quedando montado, las mordazas aprisionan al cable impidiendo que se salga. Pese a que es un sistema fiable, no es tan común verlo instalado debido a que no influye tanta confianza como el terminal anterior. Al igual que en el caso anterior, el terminal tiene una esperanza de vida superior al cable por lo que se puede reutilizar haciendo sustitución de las piezas interiores.



Ilustración 83. Terminal manual con mordazas. Fuente: Propia

En las revisiones periódicas es recomendable desmontar el terminal completamente para comprobar el estado del cable y los elementos de este, como conos o mordazas, e inspeccionar con detenimiento todos los elementos del terminal en búsqueda de pequeños signos de desgaste o fisuras, ya que cualquier pequeño indicio de daño es suficiente para sustituir todo el terminal.



Ilustración 84. Terminal manual con conos montado. Fuente: Propia

Aunque el terminal esté en perfecto estado exterior, como se aprecia en la Ilustración 84, este se ha de desmontar para comprobar el interior. Debido a la abertura que tienen en la parte superior para introducir el cable, el agua salada se introduce dentro, depositando la sal y corroyendo desde el interior. Es bastante común que cuando se abren terminales manuales aparezcan los hilos y el cono oxidado, como se puede ver en la Ilustración 85, correspondiente al interior del terminal anterior.



Ilustración 85. Interior del terminal manual con cono. Fuente: Propia

Otro problema que suele ocurrir es que cuando se está montando el terminal se apriete demasiado, provocando una excesiva presión en el terminal hembra, haciendo que aparezcan grietas y fisuras interiores por expansión, que pueden ir evolucionando hasta partir el terminal.

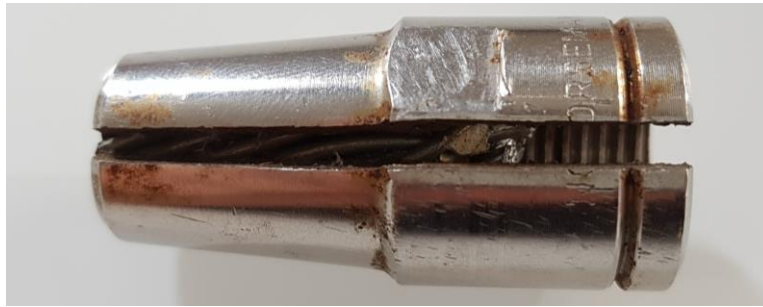


Ilustración 86. Terminal manual con conos partido. Fuente: Propia

Como consejo en este tipo de terminales, una vez este montado, volver a abrirlo y colocar un poco de silicona en el interior del terminal. Al cerrarlo la silicona irá ocupando todos los espacios vacíos que queden en el interior hasta salir por la parte superior del terminal, sellando la entrada de agua de este y alargando la vida al máximo posible.

6.2.3 Cable

El cable es el elemento principal de la jarcia, la inspección de este se realiza visualmente y debe ser muy minuciosa para comprobar si existe presencia de corrosión, picaduras o hilos oxidados. Pese a ser un cable de acero inoxidable, pueden presentarse hilos oxidados causado principalmente por la oxidación de herrajes de la arboladura que posteriormente se filtra hacia el cable o debido a que antes de salir de fábrica no se ha limpiado correctamente la grasa usada durante su manipulación, por lo que se pueden quedar adheridos elementos externos a esta que se oxiden. Sea cual sea el motivo de esta oxidación, es perjudicial para la jarcia y es necesario limpiarla y, en caso de que sea muy acusada, consultar con un especialista.

Otro de los puntos sensibles es la unión con el terminal, ya que los hilos rotos se suelen centrar en esta zona. Ante la aparición de cualquier hilo roto se debe cambiar el cable en cuestión y todos los del barco que tengan la misma edad, ya que si uno está dañado la probabilidad de que a los demás les pase lo mismo es muy alta.

De cara a alargar la vida de la jarcia firme lo máximo posible hay que tener cuidado de todos los elementos que la componen, el punto principal y más importante es llevar a cabo de forma regular un plan de mantenimiento. Muchas de estas prácticas son bastante simples de llevar a cabo y no necesitan herramientas especiales ni grandes conocimientos sobre la materia.

Prácticas simples que ayudan a alargar la vida útil de la jarcia

- *Lavar con agua dulce toda la jarcia. Endulzar la jarcia y herrajes después de navegar permite eliminar el salitre que se acumula especialmente en el interior del cable a la altura del terminal inferior, esto previene que se formen pequeñas corrosiones puntuales que con el tiempo pueden ser preocupantes.*
- *No cubrir los terminales de las crucetas o de los tensores. Un terminal cubierto puede prevenir*

que la vela o las escotas rocen con él, dañándose, pero si no se revisa dicho terminal no se ve el estado en el que se encuentra. Una funda protectora aumenta la cantidad de suciedad que se acumula.

- *Engrasar los tensores. Si se engrasan periódicamente se evita que se queden agarrotados por la corrosión. Indicar que es importante eliminar la grasa antigua, así como el sobrante.*
- *En navegación a vela usar la vela indicada para el viento reinante. No por llevar velas más grandes, especialmente en rumbos cerrados, se corre más. Con vientos fuertes una vela muy grande hará escorar el barco pronunciadamente perdiendo velocidad y transmitiendo una mayor carga a la jarcia firme, con lo que aumenta la fatiga.*
- *Revisar el aparejo. La inspección del Nivel A se hace por métodos meramente visuales, por lo que cualquier persona es capaz de ver y localizar grietas u oxidación en la jarcia si se hace con esmero. Pese a eso, si existen dudas sobre como inspeccionar correctamente la jarcia o simplemente el hecho de subir al palo no es de especial agrado, es recomendable avisar a un especialista del sector.*

Tabla 18. Consejos simples para alargar la vida de las jarcias metálicas. Fuente: Propia

6.2.4 Fallos comunes de la jarcia de cable inoxidable

Los principales fallos son debidos a falta de mantenimiento o a un mal uso de los elementos del barco que ocasionan la rotura de las jarcias, pese a esto también se dan fallos por excesiva corrosión provocada por la oxidación puntual o por la abrasión.

Los fallos por oxidación se dan en puntos concretos de la jarcia y pueden ser provocados por un exceso de materiales ajenos al inoxidable concentrados y oxidados, otra causa menos común son virutas de hierro que se han quedado en el cable durante el proceso de fabricación. Estas ocasionan la aparición de zonas oxidadas que pueden desembocar en un fallo por corrosión como se observa en la Ilustración 87.

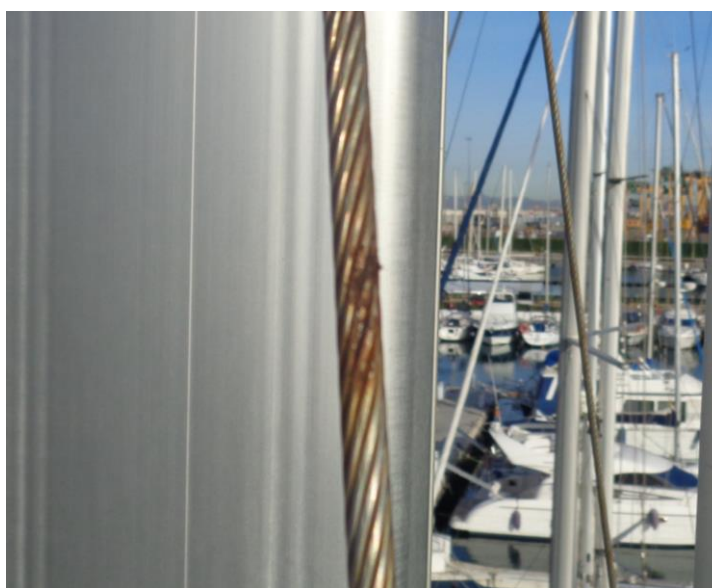


Ilustración 87. Oxidación localizada, cable de Dyform. Fuente: Propia

Los fallos por abrasión se dan en lugares donde el cable está en continuo rozamiento con otros elementos, debido a la resistencia a la abrasión del acero inoxidable, este solamente resultará dañado

cuando esté en contacto con otros elementos metálicos. Esta abrasión es la que se puede ver en la Ilustración 88, el rozamiento visto en la imagen se produce principalmente en catamaranes que disponen de aparejos de diamantes y estos no están bien trimados, por lo que los obenques que se cruzan de cada diamante rozan entre ellos provocando esta abrasión con el paso del tiempo.



Ilustración 88. Abrasión en el cable rígido de un diamante. Fuente: Propia

Otro de los fallos más comunes se da en la unión del cable con los terminales prensados principalmente, en estos casos el terminal al prensarse repetidas veces provoca un endurecimiento del metal, tanto del terminal como del cable. El cable que se encuentra en el interior del terminal tendrá un diámetro inferior que el que se encuentra en el exterior sin prensar, por este motivo, en borde del terminal donde el cable pasa de prensado a no, el cable sufre más y puede llegar a romper algún hilo, como se aprecia en la Ilustración 89. Si se aprecia que en la jarcia hay algún hilo roto se debe cambiar el cable afectado y todos aquellos que tengan su misma edad.

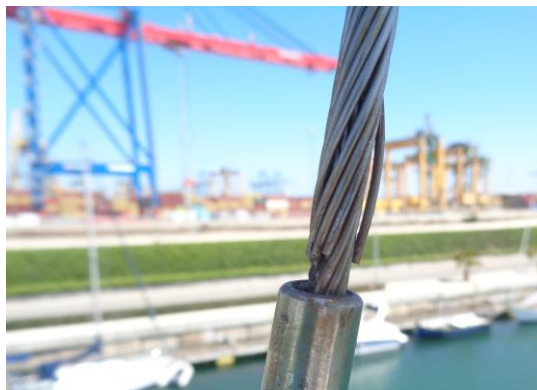


Ilustración 89. Hilo roto en cable rígido. Fuente: Propia

Por último los fallos más comunes y más peligrosos son debidos a un mal manejo de los elementos del aparejo. Estos fallos pueden ocurrir independientemente de la antigüedad de la jarcia y normalmente el resultado es la desarboladura si no se localiza a tiempo. Este problema es causado por que la driza del génova se enrolla alrededor del estay, llegándolo a partir si no se tiene conocimiento de lo que está pasando, solamente lo presentan veleros que disponen de enrollador de génova. Para entender cómo puede provocar la rotura del estay el mal funcionamiento y manipulación de este elemento, primero se explicará de forma resumida su funcionamiento:

Un enrollador de génova es un perfil de aluminio hueco por el interior del cual se encuentra el estay. Este perfil dispone de una relinga por donde se introduce el grátil del génova, haciendo que el perfil y el

gratil estén unidos. En la parte inferior existe un tambor que puede ser accionado manualmente, mediante un cabo enrollado al tambor o mediante un sistema eléctrico o hidráulico. Cuando se hace girar este tambor a uno y otro lado se moverá todo el perfil con lo que la vela se enrollará o desenrollará sobre este. Por último cuenta con un giratorio en la parte superior, a este se hará firme el puño de driza de la vela en la parte de abajo y arriba la driza del génova, con este sistema se obtiene que la parte de abajo del giratorio gire al mismo son que el perfil, enrollando la vela; mientras que la driza se queda inmóvil, ya que la parte de arriba del giratorio no se ve afectada por el giro del perfil del enrollador.

Con esta explicación sobre el funcionamiento de un enrollador se pueden entender las dos causas principales por las que la driza se puede enrollar en el estay:

- La primera de las causas es debida a que el giratorio superior, que permite el movimiento circular independiente de la driza respecto del puño de driza del génova, está bloqueada por suciedad o por rotura. Esto provoca que cuando se procede a enrollar la vela, girando el tambor y el perfil, el giratorio como está bloqueado no haga su función, por lo que el movimiento circular se transmitirá a la parte superior del giratorio y este como está enganchado a la driza empezará a enrollarla alrededor del estay. La driza se irá enrollando en el estay haciendo cada vez más fuerza, deformando primero el cable, como se ve en la Ilustración 90 y, si no se detecta a tiempo y se continua haciendo fuerza, se puede producir la rotura del cable como se puede apreciar en la Ilustración 91 donde aún se ven los restos de la funda deshilachada en la parte del cable seccionada.

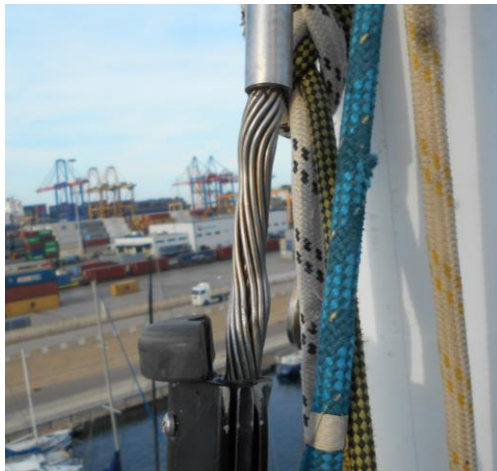


Ilustración 90. Estay deformado por la driza de génova. Fuente: Propia



Ilustración 91. Parte superior del estay partido por una driza. Fuente: Propia

- La segunda de las causas de rotura del estay, también debida a que la driza se enrolla en el estay, está producida por otro factor. Para que el giratorio superior funcione correctamente se deben de dar dos condiciones, la primera es que esté limpio y la segunda es que entre el estay y la driza haya un ángulo de entre 8 y 10°⁴⁵. Esto asegurará que la driza opondrá suficiente resistencia a la parte superior del giratorio para que este esté fijo. En palos donde la salida de la driza está justo por debajo del anclaje del estay, como se ve en la siguiente imagen, ocasiona que la driza salga paralela al estay, aumentando la posibilidad que a la mínima se enrolle la driza alrededor del estay partiéndolo como se puede apreciar en la imagen.



Ilustración 92. Estay del enrollador partido. Fuente: Propia

⁴⁵ Dato proporcionado por *Harken*



Ilustración 93. Driza enrollada en el estay. Fuente: Propia

La jarcia firme hecha de cable de acero inoxidable se encuentra en la mayoría de los barcos, siendo la jarcia más común que se puede ver por un puerto deportivo. El hecho que sea la jarcia más común no implica que haya un extenso conocimiento de sus cualidades y sobretodo de su mantenimiento, es básicamente al contrario. A grosso modo se podría decir que existe un desconocimiento generalizado en cuanto al mantenimiento de la jarcia, este desconocimiento se puede ver fácilmente reflejado si se entra en conocidos foros de internet, como puede ser La Taberna del Puerto, en estos foros suelen ir a parar propietarios de barcos de recreo que, tras obtener el consejo de un especialista, recurren a estos foros para tener una segunda opinión, la mayoría de las veces incrédula.

Algunos de los consejos que se dan son los siguientes:

- La jarcia de cable avisa cuando se va a romper, ya que primero se rompe un hilo. Como se ve en la Ilustración 89. Con esta afirmación se debe ir con mucho cuidado, ya que a veces estos hilos que se rompen pueden estar escondidos tras una funda en los terminales o en la parte superior del aparejo, con lo que no se verían si no se hacen inspecciones regularmente.
- La jarcia no es necesario cambiarla si no presenta roturas. Muchos propietarios de veleros de recreo no saben de qué año es la jarcia y como nunca ha fallado no la cambian alegando que está en buen estado, sin óxido, sin tener en cuenta la fatiga que arrastra.

Estas afirmaciones son muy comunes, igual que el número de usuarios de estos foros que afirman que se les ha caído el palo en alguna ocasión o que han estado apunto por alguna rotura de cable.

Como consejo de cara al mantenimiento es siempre acudir a un especialista y en caso de dudas pedir opinión a otros especialistas, nunca a los foros de internet o a los consejos del vecino de pantalán. Los profesionales del sector suelen llevar muchos años a la espalda trabajando con jarcias y saben de lo que hablan. Así mismo no sobrepasar los límites de la expectativa de vida de la jarcia, ya que la seguridad del aparejo depende de ello.

Fallo más común

El fallo más común es la rotura del estay en barcos de vela con enrollador, como se ha visto anteriormente el estay se puede romper por dos motivos principales, y para prevenir este fallo existen dos soluciones que solventan el problema:

- *En los palos donde el giratorio no funciona correctamente se debe bajar y limpiar los rodamientos, en caso que la pieza esté en mal estado se debe desmontar el giratorio y enviarlo a reparar o sustituir si no es posible. Un giratorio en mal estado no simplemente puede partir la driza sino que puede hacer imposible que se enrolle el génova.*
- *Si la driza sale muy paralela al estay existe la posibilidad de colocar un desviadrizas, esta es una pieza con forma de puente que se remacha al palo por debajo de la salida de la driza, como se observa en la Ilustración 94, esto hace que la salida de la driza quede más abajo consiguiendo el ángulo necesario entre la driza y el estay.*



Ilustración 94. Desviadrizas instalado en la driza de génova. Fuente: Propia

Para poder identificar si existe algún problema con el enrollador en la parte superior del palo es muy importante que los enrolladores de los barcos de esloras pequeñas/medias funcionen de forma manual sin necesidad de forzar y, en caso de que vayan más duros de lo normal nunca reenviar el cabo de control del enrollador al winche, ya que se haría mucha más fuerza y es el responsable de que se enrolle la driza partiendo el cable.

Como último consejo añadir que cuando se enrolle el génova es preferible si se le quita tensión a la driza, ya que el giratorio al no tener los rodamientos comprimidos gira mejor previniendo los problemas antes descritos.

6.3 Mantenimiento de la jarcia de varilla

Al igual que en el caso anterior se trata de una jarcia metálica, donde la principal diferencia respecto a esta es que al ser de maciza, sufre más de fatiga debido a la poca elasticidad que tienen por lo que los intervalos entre revisiones han de ser menores y de una manera más minuciosa. La esperanza de vida

depende de los mismos factores que en el caso anterior y se sitúa como valor medio en torno a los 8 años.

En las inspecciones se deben buscar señales de presencia de corrosión, óxido y grietas en el cable. Cuando se hagan las revisiones programadas se tendrán en cuenta el cable en sí y los terminales.

6.3.1 Terminales

Los terminales en la jarcia de varilla tienen un funcionamiento similar a los manuales del cable convencional. Se trata de hacer aumentar el diámetro de la jarcia en su extremo, prensándolo en un acabado redondeado, para que el terminal colocado antes de prensarla no pueda salir y quede bien firme.

Este método provoca que el material del que está hecho el terminal sufra mucho por expansión y pueden aparecer grietas. Debido a que este esfuerzo va de dentro hacia fuera, las grietas aparecen primero en la parte interior del terminal y progresivamente se van extendiendo hacia el exterior, hasta que finalmente se hacen visibles como en la Ilustración 95.

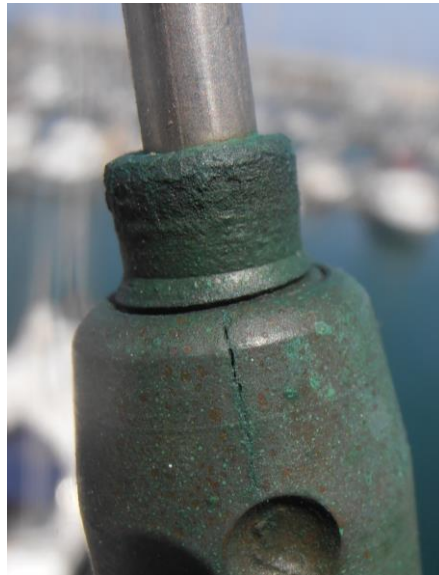


Ilustración 95. Grieta en un terminal para varilla. Fuente: Propia

Al aparecer primero en el interior la grietas provoca que no se puedan divisar a simple vista, y es necesario hacer revisiones más en profundidad, de lo contrario se podría estar navegando con un terminal agrietado sin saberlo.

6.3.2 Cables

Los cables hechos de varilla, a pesar de que están hechos de una aleación de acero inoxidable con nitrógeno la cual mejora las propiedades de resistencia frente agrietado, corrosión y fatiga elástica, se deben de revisar de una manera más frecuente y minuciosa debido a su constitución más rígida que los anteriores que le provocan una mayor fatiga elástica.

Al ser un cable compuesto por un único filamento, es muy importante que trabaje perfectamente alineado con los demás elementos para así prevenir la aparición de fatiga en forma de grietas

longitudinales como en la Ilustración 96, o transversales. Pese a que las grietas longitudinales son peligrosas y requieren un sustitución inmediata de la jarcia, hay que tener especial cuidado con las transversales a la sección, ya que estas al estar orientadas transversalmente a la carga provocan que el cable pueda partir en cualquier momento, por lo que se deben hacer inspecciones continuas y cambiar la jarcia antes incluso de que estas empiecen a aparecer.



Ilustración 96. Grietas longitudinales en jarcia de Varilla. Fuente: Propia

Este tipo de grietas pueden aparecer en cualquier parte del cable, por lo que en las revisiones se debe inspeccionar la longitud total del cable, haciendo especial hincapié en las partes más conflictivas como puede ser las uniones con las crucetas en el caso de la jarcia continua. Para localizar las fisuras se pueden utilizar métodos no destructivos como pueden ser líquidos penetrantes, pruebas de ultrasonidos, rayos X y corriente parásita.

Para hacer una correcta inspección visual, la varilla y los herrajes se deben pulir o limpiar en profundidad para exponer las fisuras que pueda esconder la suciedad. Estas grietas también se suelen encontrar debajo de las áreas oxidadas, como en la Ilustración 97, por lo que en las inspecciones no solamente habrá que centrarse en buscar fisuras y grietas, también es muy importante localizar todas las zonas que muestren signos de corrosión, picaduras, óxido y desgaste visible, ya que posiblemente escondan grietas y fisuras.



Ilustración 97. Área oxidada en jarcia de varilla. Fuente Propia

Por último, como punto importante para la vida útil de la jarcia es que la jarcia y todos los elementos estén perfectamente alineados, para ello hay que comprobar si existen malas alineaciones que serán debidas a curvaturas del cable principalmente. Las deformaciones o curvaturas de la jarcia de varilla provocan un aumento del esfuerzo local reduciendo su vida útil, ya que la fatiga aparece en estos puntos. Es recomendable sustituir cualquier herraje o cable curvado, ya que los daños producidos por la oscilación son muy difíciles de evaluar. En el caso de que el grado de curvatura de la varilla no sea muy pronunciado, esta se puede enderezar y volver a instalar proporcionando una vida útil normal, siempre y cuando lo autorice un técnico especializado.

Esta curvatura normalmente aparece en jarcias pesadas las cuales están desmontadas y se almacenan montadas en el palo sin tensión y sin apoyos. Para prevenir que la jarcia se curve cuando se desarbola, es aconsejable, incluso cuando es para poco tiempo, colocar caballetes sujetando la jarcia lateral entre las crucetas o desmontarla si procede, también se debe soltar el estay para que quede totalmente recto.

Como se ha comentado antes, es muy importante que cuando se hagan las revisiones de la jarcia esta esté completamente limpia de modo que se puedan detectar todos los posibles daños que puedan estar escondidos tras el polvo, la suciedad o la grasa. Una vez localizados los puntos que muestren una coloración distinta a el conjunto de la varilla o zonas potenciales de tener corrosión, es aconsejable pulir la jarcia, de modo que se comprobará si el daño encontrado es superficial, por los que no es necesario cambiar la jarcia o es un daño más profundo que sí que requiere la sustitución de la misma.

Pese a que uno de los requisitos explicados anteriormente que se deben dar para cambiar la jarcia sin lugar a dudas es la aparición de grietas en la varilla, hay una excepción para esta norma, que es la siguiente:

Una de las zonas con más facilidad de que aparezcan fisuras es en los cabezales prensados de la varilla, como se ven en la Ilustración 98, esto es debido a que toda la fuerza de la varilla recae sobre los cabezales, por lo que es normal que aparezcan muestras de este desgaste. En una jarcia de varilla perfectamente instalada y mantenida, con las revisiones prescritas, es normal que los cabezales prensados de la varilla duren menos que la varilla en sí. En caso de que al revisar la varilla, solamente aparezcan fisuras en los cabezales prensados no significa que sea necesario sustituir toda la sección de la varilla completamente. Una de las acciones que se puede realizar es cortar la parte dañada y volver a prensar el cabezal, de modo que se dispone de la misma sección de varilla pero un poco más corta. El único factor que podrá decidir si es o no es una acción que se puede llevar a cabo es si los tensores tienen un recorrido suficiente para compensar una longitud menor de la varilla, de lo contrario se deberá sustituir por ser demasiado corta.



Ilustración 98. Cabezal prensado de varilla fisurado. Fuente: Propia

Una correcta alineación permite que todos los elementos trabajen en el ángulo adecuado, por lo que se reducen las cargas axiales, hay que tener en cuenta que algunos elementos no están pensados para soportar tales esfuerzos y se pueden dar fallos por cizallamiento. En la Ilustración 99 se puede observar un terminal que no está alineado con el resto de la jarcia, provocando un sobre esfuerzo en la zona doblada que acabará partiendo el cable.



Ilustración 99. Mala alineación de la jarcia. Fuente: Propia

Por último añadir que aunque se haga invernación de la embarcación, si esta se queda con el palo montado, es necesario continuar haciendo inspecciones rutinarias, ya que el viento provoca cargas cíclicas, producidas por los vórtices al pasar a través de la jarcia.

6.4 Mantenimiento de la jarcia de PBO

A diferencia de las jarcias anteriores, el PBO es una fibra textil que, aunque tiene unas propiedades ideales respecto a peso y resistencia a la tensión, tiene grandes déficits en cuanto a la vida útil. Estos problemas de durabilidad son causados por la poca resistencia que tiene a la humedad y a la luz ultra violeta. La expectativa de estos cables varía notablemente según la tensión con que se trabaje. En barcos donde se trabaje con tensiones por debajo del 25% de la carga de rotura se debe cambiar cada 30000 millas navegadas, o cada tres años. En cambio en barcos de regata donde la tensión puede llegar a suponer el 35% de la carga de trabajo de manera continua, se recomienda la sustitución cada 20000 o cada dos años⁴⁶.

Esta expectativa de vida tan baja es debido a que es un tipo de jarcia que, pese a que lleva una funda protectora, se ve debilitada por numerosos agentes externos que le acortan drásticamente la vida útil. Para alargar al máximo la vida y mantener el aparejo en las condiciones óptimas, se aconsejan revisiones rutinarias y muy minuciosas, tanto entre regatas como durante las mismas en caso de regatas de altura.

⁴⁶ Dato suministrado por *Sailing Solutions*

6.4.1 Terminales

Como en todos los cables, los terminales son una parte crítica del aparejo, ya que es el elemento que hace de unión entre el cable y los demás elementos. Estos se deben revisar a conciencia para asegurar que están en perfecto estado, de lo contrario habría que cambiarlos. En los cables de PBO existen dos tipos principales de unión cable-terminal.

En el primer caso, el cable está compuesto por filamentos que van alrededor de un terminal de ojo como se ha visto en la Ilustración 60. En este caso hay que vigilar que el terminal de ojo no presente deformaciones, grietas, partes chafadas total o parcialmente, ni ninguna abertura que permita verse alguna fibra de PBO, claramente diferenciable por su color dorado.

En el segundo caso se trata de un sistema que utiliza una técnica similar a los terminales manuales vistos en los cables de acero inoxidable. La diferencia recae en que para aumentar el diámetro no se introduce un cono entre las fibras, ya que este podría producir roturas de las fibras por cizallamiento, sino que se impregnan en una cola hasta que el diámetro aumenta lo suficiente, creando un cono compacto. En este tipo de uniones el terminal se puede abrir para inspeccionar el estado del cono encolado interior, pero hay que tener en cuenta que una vez abierto se romperá el sello que protege las fibras interiores de agentes externos, por lo que se tendrá que enviar a fábrica para que lo sellen de nuevo. De todas maneras se pueden inspeccionar elementos del terminal sin tener que abrir el terminal, como pueden ser golpes, puntos de desgaste, elementos doblados, corrosión y fisuras.

6.4.2 Cables

De cara a prevenir la pérdida de propiedades y deterioro que provocan los rayos UV y la retención de agua por parte de las fibras, la inspección de los cables de PBO se debe centrar principalmente en el estado de la funda protectora, así como en la zona de la funda más cercana al terminal.

En la superficie de la funda se tiene que buscar signos de daños, como puntos de abrasión o roturas en el recubrimiento. Estos daños se pueden agravar hasta el punto de que salgan a la luz hilos de color dorado, lo que significará que las fibras se encuentran dañadas.

La zona más próxima al terminal es más delicada debido a que a lo largo del tiempo la funda puede verse afectada por la contracción térmica, por lo que se separará del terminal. En primera instancia la contracción térmica no supone un problema inmediato ya que existe una capa interna de cola que crea un sello entre la funda y el cable, de todos modos es necesario inspeccionar esta parte con detenimiento para cerciorarse que el sello está en buen estado.

Entre los motivos más comunes que implican una sustitución inmediata del cable de PBO encontramos los siguientes:

- Cualquier corte en las fibras internas del cable
- Existencia de zonas donde estén visibles las fibras interiores, aunque no estén cortadas
- Cuando se palpa el cable se localiza una disminución del diámetro en alguna zona
- En la unión funda-terminal el sello se ha roto y se ven las fibras de zylon

Los cables textiles de PBO son muy frágiles como se ha podido ver, por este motivo en las inspecciones que se hacen hay que revisar minuciosamente el cable completamente y hacer las sustituciones en fecha, sin alargar al máximo la vida útil.

Entre las acciones que le acortan más la vida a este tipo de cables está la sobre tensión, exceder las cargas recomendadas se traduce en un aumento de la posibilidad de fallo estructural con las consecuencias que se pueden dar. Este problema es bastante común ya que los cables de fibras sintéticas, aunque estén trabajando en el máximo de tensión recomendable, tienen un tacto como si estuvieran sueltos. Provocando que se aumente la tensión sobrepasando los límites establecidos por el fabricante.

El otro problema es la delicadeza de estos productos, se tienen que localizar cualquier zona en el cable con signos de abrasión y buscar su origen. Una vez localizado el elemento que dañaba el cable, se deben tomar las medidas pertinentes para minimizarlo, si se daña la funda se debe cubrir provisionalmente la zona afectada con cinta aislante para evitar la penetración de agua y rayos UV. De este modo tan básico se podrá evitar el deterioro de las fibras hasta que se sustituya el cable.

6.5 Mantenimiento de la jarcia de Dyneema

Las jarcias de Dyneema pese a que están hechas de fibras sintéticas al igual que el PBO, al tratarse de otro tipo de fibra presentan unas excelentes propiedades frente al deterioro producido por la humedad o los rayos UV. Pero, al tratarse de una fibra, continúa teniendo problemas frente a la abrasión producida por objetos de bordes afilados, así como una baja resistencia a temperaturas por encima de los 140°C. Para proteger las zonas donde se da más posibilidad de rozamiento, se le coloca una funda de un material más resistente, que puede ser Technora o Dyneema trenzado de 32 torones.

Se debe sustituir en un periodo de entre 4 y 6 años, dependiendo principalmente del diámetro, ya que las radiaciones ultravioleta solo penetran en las primeras capas, por lo que jarcias de menor diámetro tienen un porcentaje mayor dañado. La utilización de fundas protectoras, así como ciertas ceras permiten que la vida útil de estas jarcias se pueda alargar hasta los 7 años, haciendo las revisiones pertinentes.

6.5.1 Terminales

En estas jarcias, la unión del cable con el terminal se hace mediante ajustes y costuras, como se ha visto en el capítulo sobre Dyneema, por lo que en las revisiones se ha de verificar el estado de esta, ya que es una zona que queda debilitada⁴⁷. Se debe comprobar que la gaza no presenta cortes ni zonas deshilachadas.

En cuanto al terminal, se debe verificar que no existen grietas ni fisuras, así como ninguna parte doblada o borde afilado que pueda dañar el Dyneema.

⁴⁷ Según la normativa ISO 10325, cuando se realizan gazas sobre Dyneema, la carga de rotura es de un 10% menos

6.5.2 Cables

En las revisiones que se hacen en el cable hay que buscar zonas que estén rozadas por elementos como pueden ser escotas y velas, también es aconsejable mirar los puntos de apoyo en las crucetas y en los terminales, ya que son zonas donde las fibras trabajan a compresión aparte de a tracción. Una jarcia que presente zonas deshilachadas o cualquier corte se debe sustituir de inmediato.

Para prevenir la abrasión de la jarcia se suele colocar una funda protectora en las zonas más conflictivas, cuando se empiecen a detectar signos de abrasión en dicha funda habrá que desecharla y volver a enfundar la jarcia para continuar protegiéndola alargando su vida.

Las jarcias de Dyneema presentan grandes ventajas frente a las demás jarcias, la principal que afecta a este apartado es la facilidad de hacerse uno mismo la jarcia, ya que la unión terminal-cabo es muy simple, mediante una gaza y se puede conseguir Dyneema en cualquier tienda náutica. El problema que presenta es que una gaza mal hecha puede desembocar en la arboladura del palo, por lo que es recomendable contar siempre con la ayuda de un especialista que dé garantías al sistema.

Al ser fibras trenzadas, es común que el agua de mar se cuele entre las fibras, por lo endulzar a conciencia la jarcia cada vez que se llegue a puerto permitirá alargar la esperanza de vida.

6.6 Mantenimiento de la jarcia de carbono composite

Las jarcias de carbono composite constan de una vida útil que puede llegar a exceder los 10-15 años, pero a diferencia de las anteriores, para lograr esta longevidad es necesario desmontarlas completamente y ser enviadas a la fábrica para hacer las inspecciones y mantenimiento pertinente. Al tratarse jarcias punteras y relativamente modernas⁴⁸, hace que las propiedades en cuanto a degradación por agentes externos solo estén cuantificados de manera experimental, no empíricamente.

Pese a que se supone mínima esta degradación, desde fábrica dan una garantía de 5 años, una vez pasado este periodo, la jarcia se debe enviar a inspeccionar en la fábrica y, si supera las pruebas, se volverá a dar una garantía de 5 años más. Una vez en la fábrica, se realizan una serie de pasos para inspeccionar el cable, estos son los siguientes:

1. Una vez llega a la fábrica el cable se extiende y un grupo de operarios e ingenieros revisan con detenimiento la funda en busca de defectos, marcando las zonas que tienen posibilidad de ser más conflictivas. Otro grupo se encarga de localizar grietas, fisuras y muescas en los terminales, desechando los que estén en mal estado.
2. Se procede a quitar la funda protectora que será desechada sea cual sea su estado. Al quitar la funda todos los rods quedan al descubierto y se procederá a hacer una inspección visual, haciendo especial énfasis en aquellas zonas que se han marcado anteriormente en la funda.
3. Con el cable pelado, se llevará a la cámara de testeo, donde deberá comprobar si resiste a las pruebas de tensión.

⁴⁸ El modelo ECsix de *Future Fibres* lleva desde el 2004 en el mercado

4. En caso de que resista, se llevará de nuevo a la mesa de inspección, donde se examinarán los puntos conflictivos, Si el número de rods dañados entra dentro del límite se sustituirán, en caso de que se exceda este límite el cable entero será desestimado.
5. Si el resultado es positivo una vez cambiados todos los rods que se consideren necesarios, se volverán a construir los terminales i se tejerá la funda de nuevo.
6. Finalmente se testeará el cable una última vez para comprobar que cumple con los estándares de calidad.

Una vez pasada esta inspección, al cable se le dará una segunda garantía de vida que será válida para 5 años más. De fábrica aconsejan que se el cable sea sustituido a los 10 años, pero hay que tener en cuenta el tipo de navegación que se ha hecho y en que barco está instalado. Los barcos de regatas oceánicas como los de la clase *Imoca 60* cambiarán la jarcia mucho antes de los 10 años, mientras que un barco destinado a navegación de placer podrá alargar esta esperanza de vida ampliamente por encima de los 10 años recomendados.

6.6.1 Terminales

Los terminales de la jarcia de carbono composite tienen el mismo sistema que las jarcias de PBO, para aumentar el diámetro del cable y que este no pase a través del terminal, se juntan los rods mediante resina y se crea un cono compacto. En la Ilustración 100 se pueden observar la terminación de los rods con la resina de color negro entre ellos haciendo aumentar el diámetro.



Ilustración 100. Vista del interior del terminal, jarcia de ECsix. Fuente: Propia

Otro de los acabados más comunes de estos terminales se basa en dotar a los rods de una terminación circular, en la cual se puede introducir un anillo metálico, como se ve en la Ilustración 101. Este terminal metálico hará de terminación y unión con otros elementos de la jarcia. Como se puede apreciar, esta terminación tiene la ventaja de ser mucho más liviana que la anterior.

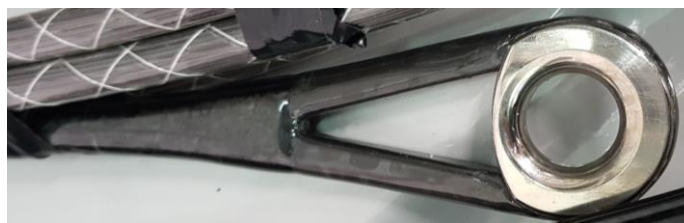


Ilustración 101. Terminal de ojo, jarcia de ECsix. Fuente: Propia

En el primer modelo de terminal, es importante desmontar las partes móviles del terminal y buscar daños en todas las piezas. Especialmente en el interior de del terminal, ya que pueden aparecer pequeñas fisuras por expansión, provocadas por el cono de rods y resina que hay en el interior del terminal. También es importante revisar que ninguno de los rods se ha escapado de la resina, es decir que sobresalen todas las terminaciones de cada rod como se aprecia en la Ilustración 100. Otro de los puntos importantes de revisión es que todos los hilos de la rosca estén en buen estado y que no existan picaduras ni daños.

En cuanto al segundo modelo de terminal se debe revisar que los rods alrededor del terminal están en buen estado y que en ningún caso el anillo metálico presenta grietas o muescas que puedan causar cortes o daños a los rods interiores.

6.6.2 Cables

Como se ha explicado en el capítulo sobre materiales, los cables de carbono composite están formados por rods independientes de carbono, unidos entre sí mediante una funda protectora, esta funda a la vez que protege los rods de las abrasiones externas también aporta la sustentación necesaria para que los rods ocupen su lugar. Por este motivo es muy importante que esta funda esté en perfecto estado y se revise continuamente.

En las revisiones rutinarias se deberá buscar cualquier signo de abrasión en la funda, al localizarlo a tiempo se evita que se acentúe, llegando a dañar los rods. En caso de encontrar una zona con rods en mal estado, esta jarcia está diseñada para poder navegar con un máximo del 25% de los rods dañados, por lo que se puede llegar a puerto y enviar a reparar, sin peligro de desarbolarse. Cabe señalar que si se aprecia un desgaste excesivo de la funda se recomienda que esta se vuelva a tejer y se coloquen protecciones en la zona más dañada y así evitar futuros daños en la misma zona.

Hay que tener en cuenta que todos los cables estarán recubiertos con una funda, pero no siempre es necesario que actúe como protección contra la abrasión. En las zonas donde el cable en condiciones y en maniobras normales no roza con nada, en los barcos de regatas inshore, se coloca una funda llamada *Race Film*⁴⁹, esta se trata de una funda plástica transparente muy delgada con la única función de otorgar integridad estructural y evitar que entre el agua acumulándose en el interior. En las demás partes donde sí que se puede producir el roce con otros elementos se le coloca una funda como se aprecia en la Ilustración 102.

⁴⁹ Nombre comercial que le otorga la empresa *Future Fibres*

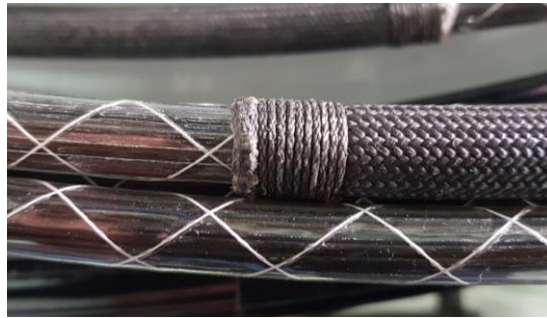


Ilustración 102. Race Film y funda de Dyneema en ECsix. Fuente: Propia

Pese a que se colocan estas protecciones, es común que en maniobras descontroladas se puedan producir impactos en la fona que no está cubierta, por lo que el film se podría dañar como se puede apreciar en la Ilustración 103, dejando al descubierto los rods.



Ilustración 103. Race Film dañado. Fuente: Propia

Pese a la gran flexibilidad y resistencia a la tensión que le otorga la construcción con rods de carbono, se debe llevar mucho cuidado con los elementos que pueden dañar las jarcias. Un fallo que se puede llegar a dar es que en una mala maniobra se enganchen las escotas en la jarcia, debido a la fuerza que ejercen los winches, se pueden romper varios rods, con la correspondiente problemática.

También hay que llevar cuidado con los golpes secos que se produzcan en la jarcia ya que se dañan los rods de carbono. En caso de que se produzca es recomendable subir al palo y hacer una revisión a fondo del estado visual exterior de toda la jarcia, especialmente en la zona donde se ha producido este golpe, una recomendación es comprobar si existen discontinuidades en la forma de la funda, indicador que los rods se han roto o no ocupan su lugar, o incluso comprobar si la flexión es igual en todos los tramos, si es superior significaría que hay rods dañados.

Por último, si aparecen zonas de abrasión en la funda es recomendable hacer una protección temporal hasta que se lleve a reparar. Una reparación puede ser colocar una protección de carbono, o en el caso de Race Film envolver la parte dañada con cinta aislante para crear una barrera frente a la entrada de agua.

6.7 Mantenimiento de la jarcia de carbono compacto

Las jarcias de carbono compacto están hechas de fibra de carbono, utilizando las mismas técnicas que se utiliza en la construcción de los palos, por lo que la esperanza de vida, virtualmente hablando, es

ilimitada. Debido a que no están aisladas y sufren constantemente golpes y abrasiones, de fábrica se le otorga una vida útil de más de 20 años en condiciones de navegación medias, siendo superior o inferior según el tipo de navegación.

A diferencia de las jarcias de carbono composite, esta no necesita ninguna funda protectora para evitar la abrasión de elementos de la arboladura y agentes exteriores como los rayos UV y la humedad, ya que es totalmente inerte a ellos.

Pese a estas propiedades, la jarcia es un elemento muy frágil y es necesario hacer inspecciones regulares para mantener la arboladura en perfecto estado. Al igual que en los casos anteriores, las inspecciones se centraran en los terminales y en el cable en sí.

La rutina de inspección y mantenimiento se puede dividir en tres tipos diferentes, una inspección regular, una inspección anual y una inspección completa.

- La inspección regular es de Nivel A, ésta la pueden hacer tripulantes experimentados o técnicos de *Carbo-Link* si se desea. Es recomendable que se haga después de las regatas, travesías largas o navegaciones intensas a motor, debido a las vibraciones que ocasiona. Durante estas revisiones se buscaran daños como:
 - Grietas, deslaminaciones, deformaciones o abrasión
 - Una mala alineación de los elementos de la jarcia
 - Que alguna de las partes no esté correctamente asegurada
 - Corrosión o falta de lubricación en los terminales.
- La inspección anual corresponderá al Nivel B, esta revisión la deben llevar a cabo empresas de rigging certificadas, inspectores marítimos o técnicos de *Carbo-Link*. Es recomendable que se haga una vez al año, aunque en barcos de regata donde la tensión de la jarcia está en valores altos de la carga de trabajo, es recomendable que se haga dos veces al año.
- Por último, la inspección completa, que corresponde a la de Nivel C, al igual que en el caso anterior, la deben de realizar empresas de rigging certificadas, inspectores marítimos o técnicos de *Carbo-Link*. Se debe de hacer cada cuatro años, aunque en barcos donde se llega a valores altos de la carga de trabajo, es recomendable que se haga cada dos años.

6.7.1 Terminales

Los terminales son zonas extremadamente delicadas ya que se ha de hacer una unión entre dos elementos diferentes y ha de ser una unión fuerte y resistente. Igual que en las jarcias de carbono composite existen dos modalidades de hacer la unión terminal-cable que son bastante parecidas y una tercera manera que es exclusiva de las jarcias de carbono compacto

La primera unión consiste en conseguir que el diámetro del cable que se introduce en el terminal sea mayor que el propio terminal, así que por una cuestión de geometría, el cable no se escapa de este. Como se aprecia en la Ilustración 104, las fibras de carbono se disponen de manera continua alrededor de un cono interior, el cual una vez se ha compactado el cable y extraída la resina sobrante queda perfectamente unido formando un único elemento estructural. En un principio estos conos interiores se hacían de titanio, pero se cambiaron a carbono ya que con la resina formaban una unión más fuerte.

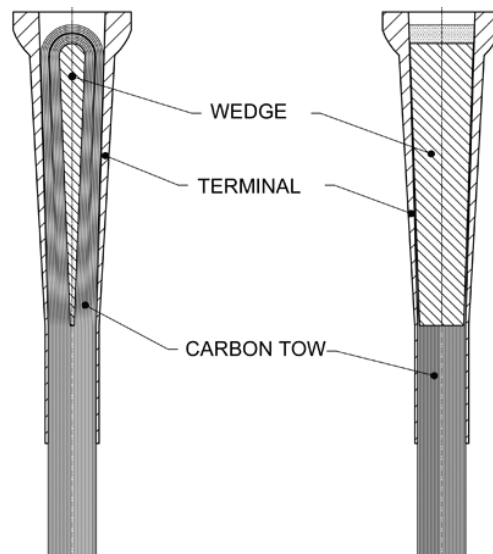


Ilustración 104. Cono interior del terminal. Fuente: Hall Spars & Rigging

El segundo método de unión terminal con el cable es exactamente igual que en el caso anterior, se trata de situar las fibras alrededor de un ojo metálico, con lo que este forma un punto de sujeción resistente a la abrasión continuada. Este terminal es mucho más simple que el anterior, por lo que también es más ligero.



Ilustración 105. Terminal de ojo en jarcia de *Carbo-Link*. Fuente: Propia

Por último esta la terminación que se aprecia en la Ilustración 106, este terminal se crea mediante un cilindro compacto de resina y fibras de carbono con una protección exterior de titanio, en la parte izquierda de la imagen se aprecia un cilindro con rosca en la parte exterior, este hará tope con el terminal del cable de carbono y con la rosca se acoplará al terminal hembra que se situará en el interior del palo, haciendo una unión muy aerodinámica y discreta ya que solo sobresale el cable del palo. En la Ilustración 107 se puede observar como es el anclaje del cable en el palo, este está completamente en el interior del palo y para montarlo y desmontarlo existe un registro desde donde se puede acceder.



Ilustración 106. Terminal de *Future Fibres* con rosca para el interior del palo. Fuente: Propia



Ilustración 107. Unión del obenque alto con el palo. Fuente: Propia

La revisión de estos tres tipos de terminaciones se debe hacer de manera visual, y solo desmontando las partes móviles, como en el caso anterior, ya que abrir el terminal y separar el cable para inspeccionar el cono interior, requeriría volver a hacer la unión en la fábrica, por lo que se recomienda que esta acción la realice el servicio técnico pertinente.

En cuanto a las revisiones visuales que se pueden llevar a cabo de manera rutinaria por la tripulación está la búsqueda de grietas, fisuras, picaduras o corrosión en cualquier parte metálica del terminal o en las fibras de carbono que lo rodean; en la rosca buscar hilos rotos o pequeñas fisuras internas y en los terminales con forma cilíndrica buscar deformaciones del cilindro, fisuras o grietas en la cabeza del modelo de terminal de la Ilustración 108.



Ilustración 108. Cabeza del terminal, cable de carbono compacto. Fuente: Propia

6.7.2 Cables

La diferencia principal respecto a las jarcias de carbono composite recae en que éstas, al estar construidas en carbono compacto, no necesitan una funda para mantener la cohesión y proteger los rods. Debido a su construcción compacta, utilizando resina para unir las fibras, se consigue que las jarcias sean extremadamente resistentes, pese a esto las jarcias deben seguir una rutina de inspecciones muy estricta para detectar cualquier defecto a tiempo.

Cuando se inspecciona el cable de carbono compacto hay que buscar daños producidos por golpes de objetos que pueden provocar deslaminación del cable y astillado del mismo. Los cables de *Carbo-Link* tienen unos parámetros de seguridad que permiten continuar navegando con cierto diámetro dañado. Estos valores son los siguientes:

- Diámetro dañado menor del 10%: En este caso se puede continuar navegando hasta el próximo puerto con total seguridad, aunque se aconseja enviar fotos al servicio técnico.
- Diámetro dañado mayor del 10% y menor del 20%: Se recomienda que, tras consultar con el servicio técnico, este sea reparado en el menor tiempo posible.
- Diámetro dañado mayor del 20%: Si se está navegando se debe de hacer una reparación inmediata, tras consultar al servicio técnico, y una vez en puerto se recomienda sustituir el cable lo antes posible.

Uno de los casos más comunes de micro-grietas, aparece en las jarcias de *Carbo-Link*. Estas se dan cerca del terminal, donde existen fibras biaxiales como se ve en la Ilustración 109, en esta zona es más propensa a que se produzcan grietas, así que en cuanto se detecten se ha de enviar un informe con fotografías a la empresa en cuestión. En la mayoría de los casos estas grietas son solamente estéticas ya que este tejido biaxial solo se encuentra en la capa exterior como acabado y no ejerce de elemento estructural.



Ilustración 109. Fibras biaxiales, cable de carbono compacto. Fuente: Propia

Otro de los daños se da por problemas de corrosión galvánica, este problema solo se encuentra en algunas jarcias de carbono de cierta edad con terminales de acero inoxidable, ya que las más modernas solo utilizan terminales de titanio donde es imposible que se produzca esta corrosión. Cuando existen terminales de acero inoxidable que no están bien aislados del carbono y con una cantidad importante de sal retenida, se puede una reacción que va corroyendo y debilitando el carbono, desde el exterior hasta las partes más internas, llegando a suponer un grave problema si no se detecta a tiempo. Como se ve en la Tabla 19, en un mismo barco puede aparecer o no este efecto, en el caso particular se trata de los obenques altos de babor y estribor respectivamente, en el obenque de estribor se puede apreciar un polvo blanco en el cable, en la parte superior del terminal. En este caso se recomienda que técnicos especializados de *Carbo-Link* lleven a cabo una inspección consistente en desmontar los terminales y revisar la profundidad a la que llega la corrosión. Una vez revisado se decidirá si hay que cambiar el cable o simplemente limpiar la zona y volver a aislarlo correctamente.



Ilustración 110. Unión terminal con jarcia de carbono compacto. Fuente: Propia



Ilustración 111. Unión terminal con jarcia de carbono compacto. Fuente: Propia

Tabla 19. Comparativa entre terminal de babor sin corrosión y terminal de estribor con corrosión. Fuente: Propia

Las jarcias de carbono compacto de Carbo-Link presentan una ventaja clara frente al carbono composite de Future Fibres, esta ventaja se basa en que las reparaciones e inspecciones se pueden hacer in-situ, sin necesidad de enviar la jarcia a la fábrica, por lo que existe un gran ahorro económico. Hay que señalar que esta opción tiene dos motivos principales.

Uno de los motivos es la construcción del cable, al ser fibra de carbono y resina, la reparación de pequeñas zonas dañadas o deslaminadas se hacen con la misma técnica y materiales que cualquier reparación de composite. Cuando se produce un daño en el cable se debe pasar un informe a Carbo-Link y, según en qué situación se encuentre el barco, navegando o en tierra, y la magnitud del daño, enviarán al servicio técnico o simplemente las pautas para reparar el daño. Como ejemplo destacar el barco Varuna, un Ker 56, que con un daño del 50% en el V1 i del 100% en el D2 y, tras ser reparados in-situ por miembros de la tripulación después de un tutorial ofrecido por técnicos de Carbo-Link, compitió en la regata Rolex Sydney to Hobart, siendo sustituida posteriormente.

El otro motivo por el que no se envían los cables a fábrica es también debido a la construcción, al ser carbono compacto, este no se puede enrollar como todos los cables anteriores, por lo que se envía sin curar y, una vez al lado del barco, se cura de modo que el cable no se podrá doblar. Por lo que es muy importante que cuando se desmonte el palo para invernar, los cables de carbono se guarden estirados, nunca enrollados, ya que partirían. En la Ilustración 112 se puede observar cómo se almacena la arboladura de un TP52, con la jarcia montada, durante el periodo de mantenimiento entre temporadas de regatas.



Ilustración 112. Palo y jarcia de carbono compacto invernando. Fuente: Propia

Uno de los temas que más se ponen sobre la mesa para descartar las jarcias de carbono es la poca resistencia relativa que tienen estas jarcias a la compresión. Esto tiene su parte de verdad, pero cuando se pone en práctica, es casi imposible que un cable de la jarcia presente compresión y, en el supuesto caso de que ocurriera, este se doblaría aliviando la compresión. Para prevenir que se dé un fallo por compresión debida a la mala alineación, los terminales son capaces de resistir cargas axiales.

Como último punto a remarcar, es importante que en los cables con terminal en ojo, no se ponga ningún aparejo ni driza enganchada en el espacio hueco que queda entre los terminales metálicos y el carbono, ya que este no está diseñado para soportar tales esfuerzos y puede producir daños.

6.8 Mantenimiento de los cadenotes

Los cadenotes, como ya se ha visto antes, son unos elementos estructurales que se encargan de transmitir los esfuerzos de la arboladura a las cuadernas. Como elemento estructural que es, se le dota de una garantía de vida igual que al barco, pero la realidad es muy diferente, este elemento sufre de fatigas igual que los elementos de la arboladura y debido a la gran importancia que tiene se deberían hacer inspecciones periódicas para evitar fallos.

Dentro de los fallos más comunes está la corrosión, esta afecta a los cadenotes hechos de planchas de acero inoxidable que, pese a las cualidades de este metal, se pueden ir dañando con el paso del tiempo, con la consiguiente pérdida de propiedades.

La corrosión en ciertos puntos debilita el conjunto favoreciendo la aparición de grietas en los cadenotes, al estar debilitados cualquier esfuerzo puede producir la rotura del cadenote y la consiguiente desarboladura. En la Ilustración 113 se puede apreciar una grieta en cadenote.



Ilustración 113. Grietas en un cadenote. Fuente: Propia

Si estas grietas no se detectan a tiempo pueden ocasionar la rotura del cadenote, como se observa en la Ilustración 114. En esta fotografía se puede apreciar como la parte visible de cubierta, por encima de la línea negra, estaba en perfecto estado aparente, mientras que la parte inferior se encuentra totalmente oxidada y corroída. Esta ruptura ocasiona la desarmoladura automática del palo.



Ilustración 114. Cadenote partido. Fuente: Propia

Durante las inspecciones de los cadenotes se debe revisar que este no presente ninguna grieta ni puntos de corrosión, un indicador de que los cadenotes necesitan ser desmontados es la presencia de óxido en cualquier parte de este, especialmente en los puntos de anclaje.

En caso que se sustituyan, el acero inoxidable que se instale se deberá pulir tanto por la parte visible como por la parte que quedará tapada. Al tratarse de una superficie pulida, previene que elementos ajenos al inoxidable se puedan adherir con facilidad, por lo que los efectos de la corrosión tardan muchísimo más en aparecer. También es importante que queden perfectamente sellados, evitando que entre el agua de mar y que llegue a ellos, ya que la sal acelera la corrosión y los daña gravemente.

Si el mantenimiento de la jarcia en los barcos de crucero por regla general no se tiene en gran consideración, los cadenotes son los perfectos desconocidos. En este apartado se quiere hacer énfasis en la necesidad de una correcta inspección. Los cadenotes no son solamente el elemento que sobresale de cubierta, continúan por debajo de ella por lo que la longitud del exterior es una mínima parte del total.

Es muy conveniente que cuando se compre un barco de segunda mano, si no se presentan las facturas correspondientes al cambio de jarcia, esta sea cambiada. Con los cadenotes pasa lo mismo, no es necesario cambiarlos, pero sí desmontarlos si tras una inspección a conciencia no se está del todo seguro de su estado. En muchos casos, el estado de los cadenotes que queda oculto hace que cambiarlos sea una prioridad. En la Ilustración 115 se puede observar la parte posterior de la grieta vista en la Ilustración 113, se ve claramente como la parte que no es visible está en un estado que disipa cualquier duda sobre si es necesario cambiar los cadenotes o no.



Ilustración 115. Parte posterior del cadenote. Fuente: Propia

En el caso concreto de estas fotografías, el cadenote roto pertenece al V1 de estribor, mientras que las grietas corresponden al D1 de proa. Este se trataba de un barco de madera, por lo que los cadenotes se encontraban atornillados a las cuernas, estas cuernas no estaban bien aisladas, por lo que absorbían agua que se filtraba hasta los tornillos corroyendo el acero inoxidable poco a poco durante 48 años, ya que estos no se habían cambiado nunca. En la Ilustración 116 se puede ver como el cadenote partió a la altura del primer tornillo, dejando ver el acero inoxidable totalmente podrido.



Ilustración 116. Cadenote partido bajo cubierta. Fuente: Propia



Ilustración 117. Velero clásico desarbolado tras rotura de cadenote. Fuente: Propia

Cabe señalar que desarbolado no solo conlleva problemas económicos derivados del cambio de palo, jarcia, velas nuevas y daños a la embarcación, también puede suponer grandes peligros para la tripulación. Por esto es recomendable que se haga una revisión a fondo de los cadenotes y que estos sean inspeccionados cada vez que se sustituya la jarcia, reduciendo al máximo el riesgo de rotura.

Capítulo 7. Conclusiones

A lo largo de la elaboración este trabajo, se ha mostrado el funcionamiento de la jarcia firme moderna, los diferentes materiales con los que se pueden fabricar la jarcia firme y por último el mantenimiento que se debe de hacer.

En primer lugar, se ha visto el funcionamiento de la jarcia firme, para ello se han analizado los tres aparejos más comunes que se pueden apreciar por los puertos deportivos en cuanto a veleros sloop marconi. En estos aparejos se ha visto una evolución a lo largo de los últimos cuarenta años, que va encaminada a simplificar la maniobra y el trimado del palo al máximo:

- Se empezó con estays a tope de palo y crucetas rectas, lo cual hacía necesario la utilización de cables, como el babystay o estay intermedio, para evitar la inversión del perfil pero al mismo tiempo dificultaban la maniobra de proa especialmente con génovas grandes, ya que debían rodear este cable en cada virada.
- Posteriormente, para evitar los estays intermedios o babystays a proa del palo, se introdujeron los palos fraccionados. En estos aparejos, al estar situado el estay por debajo del backstay, se le inducía una preflexión positiva el perfil haciendo que no fuera necesario que se usaran estos cables a proa, con lo que se simplificaron las maniobras de proa, a la vez que se hacían más complicadas las maniobras de popa por la utilización de burdas que se deben largar y cazar en cada maniobra y son necesarias para mantener el palo de popa, dar tensión al estay y absorber en los casos necesarios una excesiva flexión positiva del perfil. Este aparejo triunfó debido a la gran posibilidad de trimado que ofrece, ya que permite trimar cada parte del palo de manera independiente, adaptando el perfil a las necesidades de las velas según el estado de la mar y viento.
- Por último aparecieron los aparejos fraccionados con crucetas retrasadas, estos aparejos fueron diseñados con la intención de simplificar la maniobra, eliminando así la necesidad de utilizar las burdas para sostener el palo y los estays para dotar de flexión positiva al palo. De modo que al retrasar las crucetas se conseguía unir el control longitudinal con la estabilidad transversal, simplificando la maniobra hasta el punto de que en navegación solo fuese necesario y posible variar la tensión del backstay, según las condiciones de mar y viento. A costa de esta gran simplicidad se perdió la gran variedad de trimado que proporcionaba el aparejo anterior.

Como se ha visto, los aparejos tienden a la simplicidad. **Aparejos más sencillos permiten que los esfuerzos de la tripulación se centren en la táctica a seguir, las maniobras y en el trimado de las velas.** Es por eso que un palo más simple se traduce en que este siempre mantiene la misma forma, ya que el trimado de las burdas volantes entre maniobras desaparece. Y, en consecuencia, ya no es necesario trimar el palo para después obtener un trimado óptimo de las velas, ganando así unos segundos decisivos.

Esta simplicidad también hace que navegar sea más sencillo y apto para cualquier nivel, aumentando así el mercado para que el máximo de personas con conocimientos básicos puedan disfrutar del placer de la navegación a vela. Del mismo modo que se reducen los elementos de la arboladura, por lo que **el mantenimiento disminuye de manera notable, haciendo que los costes también disminuyan**.

En cuanto a los materiales con los que se hace la jarcia firme, se puede ver cómo evolucionan desde el cable de acero inoxidable convencional hasta las jarcias de carbono compacto. Obteniendo así una evolución de los materiales, especialmente en los últimos años. Dicha evolución va dirigida hacia materiales cada vez más especializados y que proporcionan unas propiedades muy específicas y concretas.

Esta especialización de los materiales se puede ver en el método de diseño y construcción de los nuevos cables. Mientras que los cables de inoxidable van a granel, es decir tienen ciertas medidas estándares de diámetro y se encarga la longitud deseada, cortándose posteriormente; los cables que utilizan el carbono o el Zylon como materiales base necesitan realizar un estudio muy minucioso de las necesidades específicas que tiene cada barco en particular, satisfaciendo los parámetros y construyendo cada cable específicamente para un única finalidad y velero, de manera que no hay dos cables iguales.

Como se ha visto, **las jarcias son cada vez más especializadas, tendiendo a materiales cada vez más ligeros y con capacidad de resistir tensiones más altas. El único problema que presentan estos materiales es la fragilidad**, siendo por lo general son muy sensibles a acciones como la flexión, la abrasión o la luz ultra violeta. Por este motivo, y con la intención de continuar mejorando las propiedades que ofrecen las jarcias, se investiga continuamente en nuevos materiales y diseños de fabricación.

De cara a estar en vanguardia, innovando en relación a la fabricación y diseño, **en estas empresas es donde más se invierte en el departamento de investigación y desarrollo, tanto a nivel de capital humano como de capital económico**.

Uno de los materiales en el que la industria de las jarcias se ha fijado o se fijará para elaborar jarcia firme es el grafeno. Este material, relativamente nuevo, tiene unas propiedades envidiables, lo que lo hace perfecto para usarse como jarcia firme. Entre dichas propiedades cabe destacar las siguientes:

- A mismo espesor es hasta 200 veces más resistente que una barra de acero. Esto ocasionaría que se necesitaran diámetros más finos para soportar la misma tensión.
- El peso sería similar al del carbono, por lo que la ligereza conseguida sería un gran avance.
- La alta flexibilidad permite que sea utilizado como backstays o que resista el impacto de objetos contundentes sin llegar a dañar la estructura.
- Capacidad de autorepararse, ya que si se crean micro fisuras en la jarcia, los átomos de esta se atraen completando el espacio creado. Esta propiedad alargaría notablemente la vida útil de la, dotándola de mayor seguridad.

Estas cualidades tan envidiables hacen que sea el material idóneo para la fabricación de jarcias, pese a esto, en este sector aún no se ha empezado a investigar y fabricar. El principal problema que impide que se investigue recae en que este material es muy difícil de obtener en grandes cantidades y con una calidad alta, por lo que primero se debe de descubrir la manera de sintetizarlo a gran escala para que su precio no sea desorbitado. Otro de los problemas que presenta es la propiedad elástica, esta hace que

sea incompatible con las jarcia firme, por lo que se tendría que investigar una manera de eliminar esta elasticidad, una posibilidad sería mediante el preestirado de las fibras. Por último señalar que, a diferencia del carbono, la exposición a nanotubos de grafeno puede provocar una sintomatología similar a la intoxicación por amianto, por lo que la exposición a este material puede suponer un riesgo para la salud.

Como se ha visto, la jarcia firme evoluciona para ofrecer productos cada vez más ligeros y con una mayor capacidad de carga de rotura. Estas propiedades principalmente hacen reducir el peso de la arboladura, con lo que **se consiguen veleros con unos movimientos dinámicos más suaves**. En grandes yates en particular, un centro de gravedad más bajo permite que las orzas tengan que compensar menos peso, por lo que pueden ser más cortas, permitiendo que puedan entrar en puertos menos profundos, así como un mayor confort estando fondeado o navegando.

Pese a los grandes avances y ventajas que ofrecen las jarcias firmes de materiales ligeros, estas representan únicamente una mínima parte del total de jarcias. Paseando por los puertos deportivos representan, de media, menos del 4% de las jarcias. La mayoría de las jarcias firmes continúan siendo de materiales metálicos, siendo de materiales ligeros, como PBO o Dyneema, y solo en pocos casos, elementos como backstays, burdas o estays intermedios. Esto es debido a **los altos precios que tienen los materiales de más alto nivel**, por lo que no están al alcance de gran parte de la población, solo grandes yates y equipos de regatas con un presupuesto elevado tienen acceso a esta tecnología.

De todos modos se está avanzando en el **desarrollo de productos ligeros a precios alcanzables**, para aumentar el mercado al que pueden llegar estas fábricas, como ejemplos destacar el Dyneema o la empresa *Future Fibres*, la cual lanzó una versión más económica del *ECSix*, la *ECthree*. Aunque sigue siendo un **producto con un precio elevado, ya que la producción en serie y automatizada es imposible debido a sus métodos de construcción, diseño y dimensionado**.

Finalmente, y entrando en el mundo del mantenimiento, tras ver las pautas y mantenimiento de cada material, se puede observar claramente una gran similitud entre las revisiones que se deben hacer. Por lo general, **para garantizar una vida útil de la jarcia firme lo más larga posible, hay que ceñirse a las recomendaciones que indica el fabricante, siempre teniendo presente las recomendaciones que hagan los especialistas**. Por este motivo no hay que sobre tensar el aparejo y reducir al mínimo las acciones que puedan dañar la jarcia, como abrasiones continuadas o golpes secos.

Otro de los puntos importantes, y que se repite en cada material, es la **realización de las inspecciones de una manera precisa y minuciosa**, ya que detectar a tiempo pequeños desperfectos puede evitar que sea necesario sustituir la jarcia o incluso que se desarbole. En estas inspecciones visuales se buscará de manera general una correcta alineación de todos los elementos para evitar esfuerzos localizados y buscando cualquier señal de corrosión o de grietas que puedan producir un fallo.

Para hacer un mantenimiento básico efectivo de la jarcia firme se deben revisar todos los elementos de la arboladura en busca de daños y mantener las jarcias siempre limpias, evitando la acumulación de suciedad. Con estos pocos pasos se pueden evitar muchas sorpresas indeseadas y siempre avisando a un especialista en caso de cualquier duda.

Por último, cabe señalar que todas las inspecciones y mantenimiento explicado son recomendaciones, no obligatorias, ya que **en los veleros de lista 6ª y 7ª de menos de 24 metros no existe ninguna normativa reguladora que obligue a revisar o sustituir periódicamente la jarcia firme**, el único documento informativo sobre mantenimiento es el manual del propietario. La única normativa existente se encuentra en el BOE número 218, en este Real Decreto 1434/1999 del 10 de septiembre, se establecen los reconocimientos e inspecciones que se deben llevar a cabo en embarcaciones de recreo para garantizar la seguridad de la vida humana en la mar. En el ámbito de la jarcia firme estos reconocimientos solo afectan a los cables de inoxidable, donde se buscarán hilos rotos y en las jarcias de varilla donde se comprobará que no están dobladas y existe una correcta alineación. Estas inspecciones son muy básicas y no comprueban el total de posibles fallos que se pueden dar y puntos críticos que se han visto durante el trabajo.

Como se ha visto, este Real Decreto simplemente insta a los inspectores a comprobar el correcto estado de la jarcia firme mediante una pequeña e insuficiente inspección. De cara a garantizar la seguridad de la vida humana en la mar, **sería necesario hacer una reforma de la ley**, esta reforma debería incluir la jarcia firme como elemento de seguridad, por lo que las inspecciones se deberían hacer más a conciencia. Se debe añadir los nuevos materiales que han aparecido desde 1999 y una ampliación de las partes y elementos a inspeccionar según sus características. También debería **añadir un plan de mantenimiento obligatorio para los armadores**, como el del capítulo anterior, **y la obligación de sustituir la jarcia según los criterios del fabricante**, no los criterios del armador. Esta sustitución y mantenimiento obligatorio haría que las jarcias cumplieran durante toda su vida útil con los estándares de fabricación, ofreciendo siempre la máxima seguridad y eliminando el peligro de desarboladura.

Una de las ventajas que ofrece llevar este control es de cara a los trámites con las empresas aseguradoras. En **las pólizas de seguros existen diversas cláusulas, por las que, en caso de averías debidas a falta de mantenimiento, desgaste o vicios ocultos, la compañía no se hace cargo de los gastos derivados**. Esto provoca que en la mayoría de accidentes que tienen la jarcia firme como culpable, las aseguradoras recurran a la cláusula respecto falta mantenimiento para no abonar la debida indemnización. Si se regulara mediante ley la obligación de llevar a cabo un mantenimiento y sustitución de la jarcia, en caso de avería sería suficiente entregar los documentos y facturas conforme se han realizado en plazos a la aseguradora, por lo que los trámites serían mucho más fluidos y justos.

Este trabajo ha sido realizado con el propósito de aclarar cuestiones que no han sido tratadas conjuntamente en otras publicaciones o trabajos académicos y creo que son de vital importancia, por este motivo el trabajo se dirige tanto para curiosos del tema que quieran aprender sobre este extenso mundo, para armadores que quieren saber cómo funciona su aparejo y que jarcia tienen o que buscan cual es el mejor material para sustituir la jarcia actual según sus necesidades y sobre todo para servir de guía a la hora de realizar un correcto mantenimiento e inspección de la arboladura.

Bibliografía

- {1} Acero inoxidable. Goodfellow. Último acceso: 20 de Mayo de 2018. Disponible en: <http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-316.html>
- {2} Blue Wave terminales. Último acceso: 23 de Octubre de 2018. Disponible en: <http://bluewave.dk/technical-info-2/rope-fittings/>
- {3} BSI Rod Rigging Catálogo. Último acceso: 20 de Octubre de 2018. Disponible en: <https://www.bsik.com/product/standard-rod-rigging/>
- {4} Carbo-Link:
- Carbo-Link Marine. Último acceso: 28 de Octubre de 2018. Disponible en: <http://www.carbo-link.com/marine/>
 - Introduction of aerospace 'lightning strike protection' Technology yacht Rigging. Escrito por: James Wilkinson. Octubre 2016. Último acceso: 29 de Octubre de 2018. Disponible en: <http://www.carbo-link.com/insights/lightning-strike-protection-for-yachts>
 - ISO 9001 certification. Escrito por: James Wilkinson. Junio 2016. Último acceso: 29 de Octubre de 2018. Disponible en: <http://www.carbo-link.com/insights/iso-9001-certification>
 - Why Winners Choose Carbo-Link. Último acceso: 28 de Octubre de 2018. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/56cc33838259b5d1a025d121/t/5bbe24df4785d31f81a06b92/1539187964165/01-10+Why+Winners+Choose+Carbo-Link+NEW.pdf>
 - Service Guidelines. Último acceso: 10 de Noviembre de 2018. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/56cc33838259b5d1a025d121/t/5bbe240a4785d31f81a05d62/1539187747440/Carbo-Link+Service+Guidelines.pdf>
 - Cable Fittings. Último acceso: 28 de Octubre de 2018. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/56cc33838259b5d1a025d121/t/5bbe2478ec212d0749514795/1539187842395/Carbo-Link+Cable+Terminations.pdf>
 - Solid VS Bundled. Último acceso: 28 de Octubre de 2018. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/56cc33838259b5d1a025d121/t/5bbe259b24a694cb3955af40/1539188126111/Carbo-Link+solid+rigging+vs+EC6.pdf>
 - Vibration Guidelines. Último acceso: 18 de Octubre de 2018. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/56cc33838259b5d1a025d121/t/5bbe24967817f7fc9917eabc/1539187876707/Carbo-Link+Vibration+and+Damping.pdf>

{5} Composite World Revista:

- Artículo: Carbon Fiber Rigging Cables. Escrito por: Donna Dawson. Marzo de 2015. Último acceso: 10 de Noviembre de 2018.
- Artículo: Yachtbuilding composites, rigged for success. Escrito por: Donna Dawson. 3 de Febrero de 2015. Último acceso: 12 de Noviembre de 2018. Disponible en: <https://www.compositesworld.com/articles/yachtbuilding-composites-rigged-for-success>

{6} Dynamica ropes:

- Dynamica DM20. Último acceso: 23 de Octubre de 2018.
- Dynamica SK78. Último acceso: 23 de Octubre de 2018.
- Strong- light- easy to handle. Último acceso: 23 de Octubre de 2018.
- Ropes with different construction made with Dyneema fiber. Último acceso: 24 de Octubre de 2018. Disponible en: <https://dynamica-ropes.com/dynamica-ropes/>

{7} Dyneema:

- Creep resistance of UHMWPE fiber from DSM Dyneema. Último acceso: 21 de Octubre de 2018.
- Chemical resistance of UHMWPE fibre from DSM Dyneema. Último acceso: 21 de Octubre de 2018.
- Outdoor use of ropes made with UHMWPE fibre from DSM Dyneema. Último acceso: 21 de Octubre de 2018.
- Ultra-violet exposure of UHMWPE fibre from DSM Dyneema. Último acceso: 21 de Octubre de 2018.
- Ultra High Molecular Weight Polyethylene Fiber from DSM Dyneema. Último acceso: 19 de Octubre de 2018.
- Dyneema max DM20. Ultra low creep-best ever standing Rigging option. Último acceso: 19 de Octubre de 2018.

{8} EasyRigging:

- EasyRigging lightweight sailboat rigging. Último acceso: 30 de Marzo de 2018. Disponible en: https://www.smartrigging.com/upload/files/EasyRigging_Information.pdf

{9} Fondear blog:

- Artículo: Dyneema y Spectra; la tensión de la fuerza. Escrito por: Infonautic. 2014. Último acceso: 23 de Octubre de 2018. Disponible en: http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Velas_Aparejos/Cabulleria/Dyneema_Spectra.asp

{10} Future Fibres:

- ECsix. Multi strand Carbon Rigging. Último acceso: 26 de Octubre de 2018. Disponible en: <https://www.futurefibres.com/yacht-rigging/products/standing-rigging/ecsix/>
- ECthree. Multi strand Carbon Rigging. Último acceso: 26 de Octubre de 2018. Disponible en: <https://www.futurefibres.com/yacht-rigging/products/standing-rigging/ecthree/>

{11} G.Van Der Lee:

- Discover the power of Dyneema- based ropes. Último acceso: 22 de Octubre de 2018. Disponible en: http://www.gvanderlee.com/_asset/_public/Hendrik-Veder-Group2/Discover-the-power-of-Dyneema-based-ropes.pdf

{12} Hall Spars & Rigging:

- SCR Airfoil. Último acceso: 11 de Octubre de 2016. Disponible en: https://www.hallspars.com/v/vspfiles/hall_products_SCR_rigging.html
- Manuales Hall Spars. Último acceso: 14 de Octubre de 2016. Disponible en: http://www.hallspars.com/category_s/2231.htm
- SCR Airfoil. Último acceso: 11 de Octubre de 2016. Disponible en: http://www.hallspars.com/v/vspfiles/news_index_30_3660855945.pdf
- Hall SCR innovation Continues. Abril de 2015. Último acceso: 13 de Octubre de 2016. Disponible en: <http://hallspars.blogspot.com/2015/04/hall-scr-innovation-continues.html>

{13} Harken, manual de enrollador de foque MKIV. Último acceso: 5 de Noviembre de 2018. Disponible en: https://www.harken.com/uploadedfiles/Product_Support/PDF/4417-es.pdf

{14} Hexcel, fibra decarbono utilizada. Último acceso: 22 de Octubre de 2018. Disponible en: https://www.hexcel.com/user_area/content_media/raw/IM9_HexTow_DataSheet.pdf

{15} HPA Lloyds Nitronic stainless Steel, bar and wire. Último acceso: 12 de Diciembre de 2017. Disponible en: <https://www.hpalloy.com/alloys/brochures/Nitronic60book.pdf>

{16} North U. Curso técnico. Guía para el ajuste de velas, puesta a punto de mástiles y organización de la tripulación. 1981. Último acceso: 3 de Octubre de 2018.

{17} Mar abierto Revista.

- Artículo: Las fibras se imponen. Escrito por: ER/RANC. Último acceso: 9 de Octubre de 2018. Disponible en: http://marabierto.eu/sites/default/files/acastillaje_textil.pdf
- Cousin Trestec ZY Light. Último acceso: 20 de Septiembre de 2018. Disponible en: <http://www.marabierto.eu/acastillaje/cousin-trestec-zy-light-jarcia-pbo-precio-varilla-acero-inox>

{18} ORC, Offshore Racing Congress. Measurement, stability. Último acceso: 15 de Septiembre de 2018. Disponible en: <https://www.orc.org/index.asp?id=15>

{19} Powerlite PBO Rigging:

- Powerlite- Replacement Recomendation. Último acceso: 19 de Marzo de 2018. Disponible en: <http://www.powerligerigging.com/downloads/Powerlite-Rec-Replacement.pdf>
- Selection Guide. End fitting availability. Último acceso: 19 de Marzo de 2018. Disponible en: <http://www.powerligerigging.com/downloads/Powerlite%20Selection%20Guide%20V4L.pdf>
- Powerlite, FAQ's. Último acceso: 21 de Marzo de 2018. Disponible en: <http://powerligerigging.com/faq.html>
- Race benefits. Save Weight, gain performance. Último acceso: 20 de Marzo de 2018. Disponible en: <http://www.powerligerigging.com/downloads/Powerlite%20Racer%20Benefits%20V4L.pdf>

- Tension and inspección guideline. Último acceso: 10 de Octubre de 2018. Disponible en: <http://www.powerlitterigging.com/downloads/Tension%20and%20Inspection%20Guidelines%20V3L.pdf>

{20} Rigging News Revista:

- Artículo: Carbon Rigging- Q&A: Hall seamless carbon rigging (SCR). Escrito por: Hall Spars. Marzo de 2012. Último acceso: 29 de Octubre de 2018. Disponible en: <http://riggingnews.com/2012/03/carbon-rigging-q-hall-seamless-carbon.html>
- Artículo: LO-PRO. Escrito por: Future Fibres. Noviembre de 2013. Último acceso: 24 de Octubre de 2018. Disponible en: <http://riggingnews.com/2013/11/lo-pro.html>
- Artículo: Weight savers. Escrito por: Marine Results. Septiembre de 2013. Último acceso: 28 de Octubre de 2018. Disponible en: <http://riggingnews.com/2013/09/weight-savers.html>
- Artículo: Carbo news. Escrito por: Carbo-Link. Junio 2014. Último acceso: 03 de Noviembre de 2018. Disponible en: <http://riggingnews.com/2014/06/carbo-news.html>

{21} Sail-World Revista:

- Artículo: Speedboat takes advantage of Southern Technology. Escrito por: Richard Gladwell. Julio de 2008. Último acceso: 15 de Noviembre de 2018. Disponible en: <https://www.sail-world.com/Australia/Speedboat-takes-advantage-of-Southern-Technology/46307?source=google.es>
- Artículo: Southern Spars- Special offer on boom and other news. Escrito por: Sail-World. Octubre de 2016. Último acceso: 10 de Septiembre de 2018. Disponible en: <https://www.sail-world.com/Australia/Southern-Spars--Special-offer-on-boom-and-other-news/-149278?source=google.es>

{22} Seahorse Revista:

- Artículo: Right Word right use. Escrito por: Eric Hall. Julio de 2016. Último acceso: 30 de Octubre de 2018. Disponible en: <https://www.seahorsemagazine.com/98-content/july-2016/379-right-word-right-use>
- Artículo: The definition of refined. Escrito por: Rob Weiland y Micky Costa. Septiembre de 2015. Último acceso: 10 de Noviembre de 2018. Disponible en: <https://www.seahorsemagazine.com/86-content/september-2015/301-the-definition-of-refined>
- Artículo: Full house. Escrito por: Southern Spars. Julio de 2018. Último acceso: 25 de octubre de 2018. Disponible en: <https://www.seahorsemagazine.com/133-content/july-2018/636-full-house>
- Artículo: Holding on. Escrito por: Jon Mitchell. Noviembre 2014. Último acceso: 21 de Octubre de 2018. Disponible en: <https://seahorsemagazine.com/9-content/november-2014/239-holding-on>

- Artículo: (Fast) horses for courses. Escrito por: Future Fibres. Agosto 2017. Último acceso: 26 de Octubre de 2018. Disponible en: <https://www.seahorsemagazine.com/111-content/august-2017/515-fast-horses-for-courses>
- Artículo: Still growin. Escrito por: Southern Spars. Mayo 2015. Último acceso: 26 de Octubre de 2018. Disponible en: <https://www.seahorsemagazine.com/81-content/may-2015/273-still-growin>
- Artículo: Twin debuts. Escrito por: Southern Spars. Septiembre 2016. Último acceso: 25 de Octubre de 2018. Disponible en: <https://www.seahorsemagazine.com/100-content/september-2016/396-twin-debuts>
- Artículo: Redefined. Escrito por: Carbo-Link. Junio 2018. Último acceso: 2 de Noviembre de 2018. Disponible en: <https://www.seahorsemagazine.com/archive/2018-archive/132-content/june-2018/620-redefined>
- Artículo: Keep moving. Escrito por: Carbo-Link. Noviembre 2018. Último acceso: 5 de Noviembre de 2018. Disponible en: <https://www.seahorsemagazine.com/current-issue/137-content/november-2018/685-keep-moving>

{23} Selden Manual. Consejos y asesoramiento para el ajuste y trimado de su mástil Seldén. Último acceso: 2 de Febrero de 2018. Disponible en: <http://www.seldenmast.com/files/1456144997/595-540-SP.pdf>

{24} SmartRigging:

- Cable comparison test. Último acceso: 10 de Noviembre de 2018. Disponible en: <https://www.smartrigging.com/cable-comparison/cable-comparison-tests/>
- C-evo, carbon yacht rigging by SmartRigging. Último acceso: 2 de Noviembre de 2018. Disponible en: <https://www.smartrigging.com/c-evo-carbon-yacht-rigging/>
- Smart service program. Último acceso: 10 de Noviembre de 2018. Disponible en: <https://www.smartrigging.com/service-maintenance/smart-service-program/>

{25} Southern Spars:

- Rigging by Future Fibres. Último acceso: 25 de Noviembre de 2018. Disponible en: <https://www.southernspars.com/rigging-future-fibres/>
- My Song. Último acceso: 17 de Septiembre de 2018. Disponible en: <https://www.southernspars.com/portfolio/my-song/>
- Future Fibres: Chosen as supplier of one design high performance rigging for the 36th America's Cup. Agosto 2018. Último acceso: 28 de Noviembre de 2018. Disponible en: <https://www.southernspars.com/future-fibres-chosen-supplier-one-design-high-performance-rigging-36th-americas-cup/>

{26} Transpac 52 Rule (TP52). 2017. Último acceso: 26 de Octubre de 2018.

{27} Yacht Riggers Mallorca. Catálogo. Último acceso: 22 de Mayo de 2018. Disponible en: <http://www.yachtriggers.com/>

{28} Yate Revista:

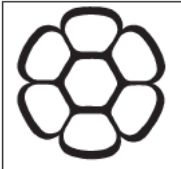
- Artículo: Geometría del palo. Escrito por: Alberto Puerto. Julio de 1996, Nº358. Último acceso: 25 de Mayo de 2018.

Anexos


A1.1 Cargas de rotura y peso

"RIGGING"

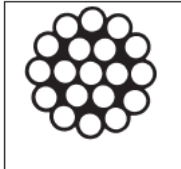
CABLES DE ACERO INOXIDABLE AISI 316 (A4)



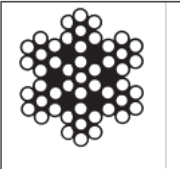
COMPACT STRAND
1x7
extremadamente rígido
límite elástico 80%



COMPACT STRAND
1x7
extremadamente rígido
límite elástico 80%



cable rígido
1x19
límite elástico 70%



cable semiflexible
7x7
límite elástico 60%

KEY	REF.	Ø	construcción	descripción	carga* kN	carga* kg	peso por 100m
CFA	WS 107025CS	2,5	1X7	compact strand 1x 7	6,70	690	3,40
CFB	WS 107030CS	3,0	1X7	compact strand 1x 7	9,80	1.000	4,90
CFC	WS 119040CS	4,0	1X19	compact strand 1x 19	17,50	1.780	8,80
CFD	WS 119050CS	5,0	1x19	compact strand 1x19	24,50	2.503	13,50
CFE	WS 119060CS	6,0	1x19	compact strand 1x19	35,70	3.641	19,40
CFF	WS 119070CS	7,0	1x19	compact strand 1x19	49,40	5.036	26,00
CFG	WS 119080CS	8,0	1x19	compact strand 1x19	61,80	6.308	34,50
CFH	WS 119100CS	10,0	1x19	compact strand 1x19	98,20	10.021	54,00
CFI	WS 119120CS	12,0	1x19	compact strand 1x19	144,80	14.769	80,70
CFJ	WS 119140CS	14,0	1x19	compact strand 1x19	189,20	19.300	115,00
CFK	WS 119160CS	16,0	1x19	compact strand 1x19	251,00	25.600	147,00
CBZ	WS 119010T	1,0	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	0,90	92	0,50
Q3B	WS 119015T	1,5	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	1,80	190	1,10
Q3C	WS 119020T	2,0	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	3,30	340	2,00
Q3D	WS 119025T	2,5	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	5,40	550	3,10
Q3E	WS 119030T	3,0	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	7,40	750	4,50
Q3F	WS 119040T	4,0	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	13,20	1.350	7,90
Q3G	WS 119050T	5,0	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	20,60	2.100	12,40
Q3H	WS 119060T	6,0	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	29,40	3.000	17,80
Q3I	WS 119070T	7,0	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	40,20	4.100	24,30
Q3J	WS 119080T	8,0	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	53,00	5.400	31,70
Q3K	WS 119100T	10,0	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	82,30	8.400	49,40
Q3L	WS 119120T	12,0	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	112,00	11.500	71,20
Q3M	WS 119140T	14,0	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	137,20	14.000	96,00
Q3N	WS 119160T	16,0	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	181,40	18.500	125,00
CBQ	WS 119190	19,0	1x19	cable 1x19 - DIN 3053	211,80	21.600	176,00
CIA	WS 707010T	1,0	7x7	cable 7x7 - DIN 3055	0,61	62	0,42
CIB	WS 707015T	1,5	7x7	cable 7x7 - DIN 3055	1,20	127	0,90
CIC	WS 707020T	2,0	7x7	cable 7x7 - DIN 3055	2,30	230	1,40
CID	WS 707025T	2,5	7x7	cable 7x7 - DIN 3055	3,90	400	2,40
CIE	WS 707030T	3,0	7x7	cable 7x7 - DIN 3055	4,90	500	3,10
CIF	WS 707040T	4,0	7x7	cable 7x7 - DIN 3055	9,90	1.000	6,10
CIG	WS 707050T	5,0	7x7	cable 7x7 - DIN 3055	15,70	1.600	9,40
CIH	WS 707060T	6,0	7x7	cable 7x7 - DIN 3055	21,60	2.200	13,30

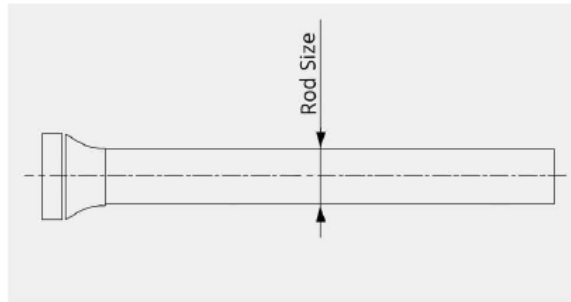
*) la carga de rotura indicada en este cuadro es la carga que garantiza el fabricante. La verdadera carga que hace romper el cable, está por encima de nuestras indicaciones. Hay que tener en cuenta el factor de seguridad, que es 2:1 en la Náutica. En otros sectores (construcción, gruas, barandillas) dicho factor varía fuertemente, según las normas en vigor.

Artículos marcados rojo: suministro por encargo, hay que respetar cantidades mínimas + plazo entrega

200

Ilustración 118. A1. Cargas de rotura y peso de cables de Inoxidable. Fuente: Yacht Riggers Mallorca

Standard Rod Rigging



Article No.	Rod Size			Break Load			Weight		Length m/kg
	Dash	mm	Inch	kN	Kg	lbs.	Kg/m	lbs./ft	
RO45	-4	4.4	0.17	21.0	2140	4718	0.12	0.08	8.47
RO65	-6	5.0	0.20	27.9	2850	6283	0.16	0.11	6.49
RO85	-8	5.7	0.23	36.3	3700	8157	0.20	0.13	5.00
RO105	-10	6.4	0.25	45.8	4670	10295	0.25	0.17	3.95
RO125	-12	7.1	0.28	55.6	5670	12500	0.32	0.21	3.22
RO155	-15	7.5	0.30	64.7	6600	14551	0.35	0.25	2.63
RO165	-16	8.0	0.31	68.6	7000	15432	0.40	0.27	2.52
RO175	-17	8.4	0.33	77.5	7900	17417	0.44	0.29	2.30
RO225	-22	9.5	0.38	100.0	10200	22487	0.56	0.38	1.80
RO305	-30	11.1	0.44	133.3	13600	30644	0.76	0.52	1.32
RO405	-40	12.7	0.50	178.0	18150	40014	1.00	0.67	1.01
RO485	-48	14.3	0.56	213.7	21800	48061	1.27	0.85	0.79
RO605	-60	16.8	0.66	290.3	29611	65281	1.74	1.17	0.57
RO765	-76	17.9	0.70	338.0	34475	76004	1.99	1.34	0.50
RPB091	-91	19.5	0.77	404.7	41278	91002	2.36	1.58	0.42
RPB115	-115	22.2	0.88	511.5	52165	115004	3.06	2.06	0.33
RPB150	-150	25.4	1.00	663.7	67686	149222	4.00	2.69	0.25
RPB170	-170	27.1	1.07	775.1	77012	169782	4.54	3.05	0.22
RPB195	-195	28.6	1.13	840.7	85744	189033	5.06	3.40	0.20
RPB220	-220	30.3	1.19	978.5	99792	220003	5.67	3.81	0.18
RPB260	-260	33.4	1.31	1147	116981	257899	6.89	4.63	0.15
RPB320	-320	38.1	1.50	1493	152293	335748	8.99	6.04	0.11
RPB360	-360	41.3	1.63	1601	163300	360015	10.64	7.12	0.09
RPB430	-430	44.5	1.75	2036	207655	457800	12.25	8.23	0.08
RPB540	-540	50.8	2.00	2402	245009	540152	16.05	10.73	0.06
RPB640	-640	57.2	2.25	2891	294835	648637	-	-	-
RPB750	-750	63.5	2.50	3336	340200	748440	-	-	-
RPB910	-910	68.5	2.70	4047	412769	908091	-	-	-
RPB1080	-1080	74.5	2.93	4803	489888	107753	-	-	-

Where no tolerances are given, tolerances on rod sizes given by the supplier applies
Yield strength is 80-85% of the Break Load

69

Ilustración 119. A2. Cargas de rotura y peso de la varilla. Fuente: BSI

DYNAMICA ropes

DYNAMICA SK78

FACTS

Material	Dyneema® SK78
Hand friendly	low weight, easy to handle
Buoyancy	0,98
UV stability	Very good
Chemical resistance	Very good
Abrasion resistance	Very good ¹⁾
Melting point	144-152° C
Max work temperature	60-65° C

1) Dynamica SK78 has excellent abrasion resistance when special care is taken. In order to ensure that, the Dynamica SK78 should only be moved over non-rust areas, surfaces and avoid sharp edges.

DYNAMICA SK78

12

STRANDS

Diameter mm	Breaking strength (t)	kg/100 m
2	0.6	0.2
3	1.0	0.5
4	1.5	0.7
5	3.0	1.4
6	4.0	2.1
7	6.1	2.7
8	7.7	3.5
9	9.0	4.2
10	10.0	4.6
11	13.9	6.2
12	17.8	8.5
14	22.0	12.0
16	26.1	13.0
18	36.0	19.0
20	41.0	21.0
22	50.5	26.0
24	55.0	31.5
26	65.0	36.0
28	70.0	40.0
30	78.0	43.0
32	84.5	47.0

Diameter mm	Breaking strength (t)	kg/100 m
34	94.0	53.0
36	110.0	61.0
38	133.0	72.0
40	145.0	76.5
42	155.0	84.5
44	170.0	100.0
48	180.0	120.0
52	220.0	143.0
56	275.0	180.0
60	310.0	200.0
64	350.0	230.0
72	400.0	260.0
80	470.0	300.0
88	525.0	430.0
96	625.0	500.0
104	690.0	600.0
112	790.0	700.0
120	900.0	800.0

© 2018 Dynamica Ropes All rights reserved.

Dynamica Ropes ApS
Borupvej 80
DK-7000 Fredericia
Denmark

 C/P nr: DK28118406
 Phone: +45 7622 50 15
 Mail: dynamica@dynamica-ropes.dk
 Web: www.dynamica-ropes.com

Il·lustració 120. A3. Cargas de rotura y peso de Dyneema SK78. Fuente: Dynamica Ropes

Availability and strengths								
Diameter	8 mm	10 mm	12 mm	14 mm	16 mm	18 mm	20 mm	24 mm
MAX DM20	5510 kg	8160 kg	12,400 kg	14,530 kg	19,560 kg	23,400 kg	28,310 kg	40,350 kg
MAX DM20 XPS	7600 kg	11,260kg	17,110 kg	20,060 kg	27,040 kg	32,290 kg	–	–

Note: Uncovered 12-strand ropes

Il·lustració 121. A4. Cargas de rotura de Dyneema DM20. Fuente: Dynamica ropes

A1.2 Tablas de datos agrupados

Descripción	∅	CR (kg)	Descripción	∅	CR (kg)
Compact strand 1x19	4	1780	Cable rígido 1x19	4	1350
Compact strand 1x19	5	2503	Cable rígido 1x19	5	2100
Compact strand 1x19	6	3641	Cable rígido 1x19	6	3000
Compact strand 1x19	7	5036	Cable rígido 1x19	7	4100
Compact strand 1x19	8	6308	Cable rígido 1x19	8	5400
Compact strand 1x19	10	10021	Cable rígido 1x19	10	8400
Compact strand 1x19	12	14769	Cable rígido 1x19	12	11500
Compact strand 1x19	14	19300	Cable rígido 1x19	14	14000
Compact strand 1x19	16	25600	Cable rígido 1x19	16	18500

Descripción	∅	CR (kg)	Descripción	∅	CR (kg)
Varilla	4	1945	SK75	4	1200
Varilla	5	2850	SK75	5	2300
Varilla	6	4380	SK75	6	2700
Varilla	7	5590	SK75	7	3600
Varilla	8	7000	SK75	8	5000
Varilla	10	11085	SK75	10	8500
Varilla	12	16750	SK75	12	11500
Varilla	14	21340	SK75	14	14200
Varilla	16	28200	SK75	16	17000

Valores interpolados para
aproximar

Descripción	∅	CR (kg)
DM20	4	1300
DM20	5	2700
DM20	6	3600
DM20	7	5400
DM20	8	6900
DM20	10	9000
DM20	12	16000
DM20	14	19800
DM20	16	23500

Tabla 20. A1. Comparativa de diámetros y carga de rotura según material. Fuente: Propia

Descripción	∅	Peso (kg cada 100m)	Descripción	∅	Peso (kg cada 100m)
Compact strand 1x19	4	8,8	Cable rígido 1x19	4	7,9
Compact strand 1x19	5	13,5	Cable rígido 1x19	5	12,4
Compact strand 1x19	6	19,4	Cable rígido 1x19	6	17,8
Compact strand 1x19	7	26	Cable rígido 1x19	7	24,3
Compact strand 1x19	8	34,5	Cable rígido 1x19	8	31,7
Compact strand 1x19	10	54	Cable rígido 1x19	10	49,4
Compact strand 1x19	12	80,7	Cable rígido 1x19	12	71,2
Compact strand 1x19	14	115	Cable rígido 1x19	14	96
Compact strand 1x19	16	147	Cable rígido 1x19	16	125

Descripción	∅	Peso (kg cada 100m)	Descripción	∅	Peso (kg cada 100m)
Varilla	4	12	Kevlar Cable	4	
Varilla	5	16	Kevlar Cable	5	
Varilla	6	22	Kevlar Cable	6	
Varilla	7	31	Kevlar Cable	7	4
Varilla	8	40	Kevlar Cable	8	5,2
Varilla	10	59	Kevlar Cable	10	8,1
Varilla	12	90	Kevlar Cable	12	12,5
Varilla	14	120	Kevlar Cable	14	14
Varilla	16	160	Kevlar Cable	16	21

Valores interpolados para aproximar

Descripción	∅	Peso (kg cada 100m)
DM20	4	0,7
DM20	5	1,4
DM20	6	2,1
DM20	7	2,7
DM20	8	3,5
DM20	10	4,6
DM20	12	8,5
DM20	14	12
DM20	16	13

Tabla 21. A2. Comparativa de diámetros y peso según material. Fuente: Propia