

# **Estudio del plano vélico y procedimiento de diseño de las velas. Aplicación al velero escuela “Barcelona”**

## **Proyecto Final de Carrera**

Ingeniería técnica naval en propulsión y  
servicios del buque



Facultat de Nàutica de Barcelona

Universitat Politècnica de Catalunya

Barcelona, 2 de Setiembre de 2014

**Autora:** Berta Gómez Llopart

**Directora:** Marcel·la Castells Sanabra

**Departamento:** Ciencia e ingeniería náutica.



## **AGRADECIMIENTOS**

A la directora del proyecto Marcel·la Castells por su colaboración e interés. A Pep Soldevila, de Tack Velas, por haberme proporcionado información y por haberse prestado a responder todas mis preguntas. A Toni del Rio por su ayuda y tiempo dedicado. Y a mi familia por su apoyo y por haber confiado en mí.



# TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS EN EL ESTUDIO DEL PLANO VÉLICO .....</b>	<b>12</b>
2.1 ELEMENTOS DE UN VELERO .....	12
2.2 PARTES DE LA VELA .....	14
2.3 ELEMENTOS DE LA VELA.....	15
2.3 RUMBOS DE NAVEGACIÓN.....	16
<b>CAPÍTULO 3. FUNDAMENTOS FÍSICOS PARA EL DISEÑO DE LAS VELAS .....</b>	<b>18</b>
3.1 FLUIDOS EN MOVIMIENTO .....	18
3.1.1 EL VIENTO.....	19
3.1.1.1 DEFINICIONES.....	19
3.1.1.2 MEDICIÓN DEL VIENTO.....	20
3.2 ESTUDIO DE LA MECÁNICA DE UN VELERO .....	21
3.2.1 ESFUERZOS DIRECTOS .....	23
3.2.1.1 FUERZA AERODINÁMICA .....	23
3.2.1.2 FUERZA HIDRODINÁMICA.....	24
3.2.1.3 DESCOMPOSICIÓN DE LAS FUERZAS.....	24
3.2.2 ESFUERZOS INDIRECTOS.....	27
3.3 INTERACCIÓN ENTRE LA VELA MAYOR Y LAS VELAS DE PROA.....	28
<b>CAPÍTULO 4. VELAS Y APAREJO .....</b>	<b>30</b>
4.1 LA JARCIA.....	30
4.1.1 PERCHAS.....	30
4.1.2 JARCIA FIRME .....	30
4.1.3 JARCIA DE LABOR.....	36
4.2 TIPO DE APAREJOS .....	36
4.2.1 SEGÚN NÚMERO Y POSICIÓN DE LOS PALOS .....	36
4.2.2 SEGÚN EL TIPO DE OBENCLADURA.....	37
4.2.2.1 APAREJO A TOPE DE PALO .....	37
4.2.2.2 APAREJO FRACCIONADO .....	38
4.2.2.3 APAREJO <i>BERGSTROM &amp; RIDDER</i> (B & R) .....	39
4.2.2.4 AUTOOBENCADO.....	39
4.2.2.5 SIN OBENCLADURA.....	40
4.3 DESCRIPCIÓN DE UNA VELA .....	40
4.4 VELA MAYOR .....	41
4.4.1 FUNCIONES.....	41

4.4.2 MÉTODOS DE TRIMADO .....	42
4.5 VELAS DE PROA .....	45
4.5.1 GEOMÉTRICAS .....	46
4.5.2 FUNCIONES.....	47
4.5.3 MÉTODOS DE TRIMADO .....	47
4.6 VELAS PARA VIENTOS PORTANTES .....	49
4.6.1 FUNCIONES.....	49
4.6.2 <i>GENNAKER</i> .....	49
4.6.2.1 MÉTODOS DE TRIMADO .....	50
4.6.3 ASIMÉTRICO .....	51
4.6.3.1 MÉTODOS DE TRIMADO .....	52
4.6.4 <i>SPINNAKER</i> .....	53
4.6.4.1 MÉTODOS DE TRIMADO .....	54
<b>CAPÍTULO 5. MATERIALES .....</b>	<b>57</b>
5.1 JARCIA .....	57
5.1.3 PERCHAS.....	57
5.1.3.1 MÁSTIL.....	57
5.1.1.2 CRUCETAS, BOTAVARA Y TANGÓN .....	61
5.1.2 JARCIA FIRME .....	61
5.1.3 JARCIA DE LABOR.....	63
5.2 VELAS.....	63
5.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS REQUERIDAS.....	65
5.2.2 FIBRAS .....	66
5.2.2.1 PRINCIPALES FIBRAS UTILIZADAS.....	67
5.2.2.2 CARACTERÍSTICAS.....	72
5.2.3 MÉTODOS DE DISPOSICIÓN DE LAS FIBRAS .....	76
5.2.3.1 TEJIDOS.....	76
5.2.3.2 LAMINADOS.....	79
<b>CAPÍTULO 6. FABRICACIÓN DE LAS VELAS .....</b>	<b>83</b>
6.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.....	83
6.1.1 PLANTEAMIENTO.....	84
6.1.1.1 PROGRAMA DE NAVEGACIÓN .....	84
6.1.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL BARCO .....	85
6.1.1.3 PRESUPUESTO DEL PROYECTO .....	85
6.1.2 MEDICIONES.....	85
6.1.2.1 PARA LA MAYOR .....	86

6.1.2.2 PARA VELAS DE PROA .....	88
6.1.3 DISEÑO .....	90
6.1.4 DISEÑO PARA LA FABRICACIÓN .....	92
6.1.5 ESTUDIO AERODINÁMICO DE LA VELA Y SUS ESFUERZOS. ....	94
6.2 TECNOLOGÍAS DE ELABORACIÓN .....	95
6.2.1 DISPOSICIÓN ESTRUCTURAL.....	95
6.2.1.1 PAÑOS .....	95
6.2.1.2 MEMBRANAS ESTRUCTURALES .....	97
6.2.1.3 TAPE-DRIVE.....	99
6.2.1.4 COMPARACIÓN ENTRE LAS DISPOSICIONES ESTRUCTURALES.....	100
6.2.2 SISTEMAS DE UNIÓN DE LOS PAÑOS .....	101
<b>CAPÍTULO 7. ESTUDIO DEL PLANO VÉLICO DEL VELERO BARCELONA .....</b>	<b>103</b>
7.1 INTRODUCCIÓN .....	103
7.2 PLANTEAMIENTO .....	103
7.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL BARCO.....	103
7.2.2 PROGRAMA DE NAVEGACIÓN .....	106
7.2.3 PRESUPUESTO .....	106
7.3 MEDICIONES.....	107
7.3.1 CÁLCULO DE ÁREAS .....	108
7.3.1 CÁLCULO DEL CENTRO VÉLICO .....	110
7.4 PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN .....	112
7.4.1 ELIMINACIÓN DEL PALO DE MESANA .....	112
7.4.2 DISEÑO DEL PLANO VÉLICO .....	113
7.4.2 DETERMINACIÓN DE LAS NUEVAS MEDIDAS.....	113
7.4.2.2 CÁLCULO DEL NUEVO CENTRO VÉLICO.....	116
7.4.2.3 PROPUESTA DE DISEÑO Y CONFECCIÓN DE LAS NUEVAS VELAS .....	118
7.4.3 DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA NUEVA JARCIA .....	118
7.4.3 PRESUPUESTO FINAL DEL PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN .....	120
<b>CAPÍTULO 8. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>121</b>
<b>CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>125</b>
LIBROS .....	125
WEBS.....	125
ENTREVISTA.....	126
<b>CAPÍTULO 10. ANNEXO .....</b>	<b>127</b>
A. ESTUDIO COMPARATIVO DE 17 VELEROS .....	127
B. PRESUPUESTO DE MAYOR Y GÉNOVA TACK VELAS .....	128

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 2-1 Elementos del velero .....	12
Figura 2-2 Winch con un cabo fijado en el <i>self</i> y la maneta .....	13
Figura 2-3 Conjunto de <i>stoppers</i> que forman un piano .....	14
Figura 2-4 Mordaza .....	14
Figura 2-5 Puños y bordes de la vela .....	15
Figura 2-6 Elementos de la vela.....	16
Figura 3-1 Composición de velocidades del viento y del barco .....	20
Figura 3-2 Tabla de la escala de Beaufort.....	20
Figura 3-3 Dirección de la Fuerza aerodinámica total .....	23
Figura 3-4 Descomposición de la fuerza hidrodinámica y aerodinámica .....	25
Figura 3-5 Descomposición de la fuerza de escora y antideriva .....	26
Figura 3-6 Principales líneas de esfuerzo .....	27
Figura 3-7 Fibras según los esfuerzos principales.....	28
Figura 4-1 Esquema y fotografía de las disposiciones de los obenques .....	31
Figura 4-2 Ilustración y fotografía de distintos puntos de anclaje de los obenques .....	32
Figura 4-3 Ilustración de jarcia continua y discontinua .....	32
Figura 4-4 Ilustración de una jarcia con disposición violín .....	33
Figura 4-5 Gráfico de la tensión en los obenques y el ángulo de los mismos con el palo.....	33
Figura 4-6 Ilustración de los ángulos de los obenques con el palo en función de la situación de las crucetas.....	34
Figura 4-7 Orientación vertical correcta de las crucetas .....	34
Figura 4-8 Ilustración de crucetas en ángulo recto y retrasadas .....	35
Figura 4-9 Principales elementos de la jarcia firme.....	36
Figura 4-10 Aparejo a tope de palo .....	37
Figura 4-11 Aparejo fraccionado .....	38
Figura 4-12 Aparejo Bergstrom & Ridder .....	39
Figura 4-13 Fotografía de una vela mayor.....	42
Figura 4-14 Garrucho del puño de driza de la vela mayor .....	43
Figura 4-15 Contra de la botavara .....	43
Figura 4-16 Fotografía de un génova y un foque.....	46
Figura 4-17 Carro del génova .....	48
Figura 4-18 Forma de dar tensión al <i>stay</i> .....	49
Figura 4-19 Gennaker .....	50
Figura 4-20 Esquema del tipo de Gennaker para distintos vientos en función de AWA y TWS ..	51
Figura 4-21 <i>Spinnaker</i> asimétrico .....	52
Figura 4-22 Esquema del tipo de <i>Spinnaker</i> asimétrico para distintos vientos en función de AWA y TWS .....	53
Figura 4-23 <i>Spinnaker</i> simétrico .....	53
Figura 4-24 Esquema del tipo de <i>Spinnaker</i> asimétrico para distintos vientos en función de AWA y TWS .....	54
Figura 4-25 Elementos de la maniobra de <i>spinnaker</i> .....	55
Figura 4-26 Barber.....	56
Figura 5-1 Mástil de madera .....	58

Figura 5-2 Mástil de aluminio.....	59
Figura 5-3 Mástil de carbono .....	60
Figura 5-4 Jarcia de filamento trenzado .....	61
Figura 5-5 Jarcia textil .....	62
Figura 5-6 Distintos tipos de fibras de poliéster .....	67
Figura 5-7 Nylon .....	69
Figura 5-8 Kevlar Nauticexpo .....	69
Figura 5-9 Technora .....	70
Figura 5-10 Twaron .....	70
Figura 5-11 Spectra o Dyneema .....	71
Figura 5-12 Carbono.....	72
Figura 5-13 Gráfica comparativa del módulo inicial de los principales materiales utilizados para la confección de velas .....	73
Figura 5-14 Gráfica comparativa de la tenacidad de los principales materiales utilizados para la confección de velas .....	74
Figura 5-15 Gráfica comparativa de la pérdida de flexibilidad de los principales materiales utilizados para la confección de velas .....	74
Figura 5-16 Gráfica comparativa de la pérdida de resistencia UV de los principales materiales utilizados para la confección de velas .....	75
Figura 5-17 Gráfica comparativa de la elongación de los principales materiales utilizados para la confección de velas .....	76
Figura 5-18 Tejido formado por hilos entrecruzados .....	78
Figura 5-19 Laminado compuesto de varias capas de distintos materiales.....	79
Figura 5-20 Composición de distintos tipos de laminados .....	81
Figura 6-1 Diseño y fotografía de las velas de un J/111 .....	84
Figura 6-2 Cadenas de la mayor .....	86
Figura 6-3 Ilustración de distintos tipos de cartabón de mayor .....	87
Figura 6-4 Perpendiculares de la vela de proa .....	88
Figura 6-5 Principales medidas de un <i>spinnaker</i> simétrico.....	89
Figura 6-6 Principales medidas de un <i>spinnaker</i> asimétrico.....	90
Figura 6-7 Proyección vectorial .....	91
Figura 6-8 Proyección volumétrica .....	91
Figura 6-9 Ejemplo de distribución de los paños para cortar en el plotter.....	92
Figura 6-10 Refuerzos de la vela.....	93
Figura 6-11 Plotter .....	94
Figura 6-12 Estudio aerodinámico de una vela .....	94
Figura 6-13 Disposición de paños: <i>Cross-cut</i> , <i>Twist Foot</i> , <i>Horitzontal Cut</i> y <i>Vertical Cut</i> .....	95
Figura 6-14 Disposición tri-radial de paños .....	96
Figura 6-15 Vela subdividida en zonas con fibras dirigidas .....	97
Figura 6-16 Modo de confección de las velas 3D.....	98
Figura 6-17 Modo de confección de las velas de membrana .....	99
Figura 6-18 Comparación entre unas velas tri-radiales y unas <i>Tape-drive</i> .....	100
Figura 6-19 Máquina de coser de una velería situada a nivel de suelo .....	101
Figura 6-20 Máquina que proporciona una unión mediante la aplicación de ultrasonidos .....	102
Figura 7-1 Jarcia firme del velero Barcelona .....	104

Figura 7-2 Escotero del velero Barcelona.....	105
Figura 7-3 Fogonadura del mástil y jarcia de labor del velero Barcelona .....	105
Figura 7-4 Esquema de las principales medidas .....	107
Figura 7-5 Centros vélicos de la mayor, del génova y de la mesana.....	110
Figura 7-6 Centro vélico del conjunto de la mayor y del génova.....	111
Figura 7-7 Centro vélico total actual del velero Barcelona .....	112
Figura 7-8 Esquema de comprobación de los escoteros y el porcentaje de solapamineto .....	114
Figura 7-9 Centro vélico de la nueva mayor y del nuevo génova .....	116
Figura 7-10 Centro vélico total de las nuevas velas.....	117
Figura 7-11 Comparación entre el nuevo centro vélico y el actual.....	117

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

La navegación a vela empezó hace siglos como un modo de transporte. Actualmente sólo se navega a vela por afición, desde una navegación sencilla y cómoda hasta alta competición. El objetivo de la navegación a vela es exponer al viento un velamen de la forma más eficaz posible, es decir, un velamen que esté adaptado al barco, a su tipo de navegación y a su tripulación.

Al diseñar una vela es importante conocer y distinguir todos los elementos que influyen en ella. Una breve iniciación a los elementos y partes principales del barco y la vela permite hacer más asequible el trabajo a personas que no sean muy entendidas en el tema, pero a las que les pueda despertar interés.

Por un lado, las leyes de la física permiten dar explicación al fenómeno de la navegación, en la que influyen dos fluidos distintos, el aire y el agua, y en la que se generan una serie de fuerzas que permiten que el barco pueda avanzar.

Por otro lado, en la navegación también influyen todos los elementos que acompañan a la vela, es decir, la jarcia en general: su disposición, el tipo de aparejo y el material de cada uno de los elementos que la componen; y la propia vela: las características generales de su forma, si se trata de una mayor o una vela de proa, y el tipo de material de la que está hecha.

El procedimiento de diseño de una vela parte de un planteamiento inicial que tiene en cuenta las características del barco, el programa de navegación y el presupuesto del proyecto. A partir de esta información se puede determinar el material a utilizar y el tipo de diseño a realizar. El material se determina en función de las características que se precisen para una vela en concreto: más o menos ligereza, durabilidad y flexibilidad sin deformación.

El objetivo final del proyecto es realizar el diseño de un nuevo plano vélico para la embarcación Barcelona, un Belliure 40' que pertenece a la Facultat de Nàutica de Barcelona, con el fin de aumentar el tipo de usos que se le da, actualizarlo y optimizar su navegación, mejorando su programa de navegación, sin perder de vista que se trata de un barco escuela y no de un barco de regatas.

Las motivaciones personales que han llevado a la elección de este proyecto incluyen el interés por aprender nuevas herramientas de cara al futuro laboral, la familiarización con información referente al trimado de velas, a su confección y a los procedimientos de diseño, además de la pasión por navegar.

## CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS EN EL ESTUDIO DEL PLANO VÉLICO

Para poder proceder al estudio del plano vélico primero es necesario conocer cuáles son los elementos principales de un velero que afectan de forma directa a las velas, cuáles son las partes y elementos principales de una vela, así como cuáles son los rumbos de navegación.

### 2.1 ELEMENTOS DE UN VELERO

El mástil es el palo principal vertical firme la función del cual es sujetar la vela mayor. En el caso que el velero disponga de más de un palo, el mástil principal recibe el nombre de palo mayor y el mástil secundario, de menor tamaño y situado más a popa, palo de mesana. Sujetada al mástil y de forma horizontal se encuentra la botavara que regula la abertura respecto al mástil de la vela mayor. El mástil está sujeto al barco por un anclaje en su parte inferior y por distintos elementos sujetos a distintas alturas del mismo. Longitudinalmente, dispone del *stay* de proa, en el cuál, además, se aparejan las velas de proa como el génova o el foque. Por popa, el *backstay*, que también permite darle curvatura al mástil. Transversalmente dispone de obenques, separados del palo mediante crucetas el objetivo de las cuales es que el ángulo formado entre ambos sea lo suficientemente amplio como para ser efectivo. La contra es un brazo ubicado en el ángulo que forma la botavara con el mástil que permite ajustar la desviación entre estos afectando a la apertura de la baluma de la vela.



Figura 2-1 Elementos del velero

Un segundo grupo de elementos que forman parte del barco es el que incluye poleas, grilletes o *winchs*. Se trata de elementos secundarios que ayudan o facilitan el funcionamiento de otros elementos del barco o actúan como elementos de fijación o unión.

Una polea es un dispositivo mecánico de tracción, que sirve para transmitir una fuerza con el objetivo de reducir el esfuerzo de cabos que provienen de otro elemento del barco. Una polea

que se puede abrir para pasar por ella un cabo que ya esté trabajando es una pasteca. Otro elemento que desmultiplica la tracción de los cabos es el *winch*, un elemento en forma de tambor con engranajes en su interior. Un *winch* además puede disponer de un elemento de fijación en la parte superior que recibe el nombre de *self*. El cabo siempre debe estar dispuesto a su alrededor en sentido horario. Las manetas son las manivelas a través de las cuales se da tensión al *winch* y por consiguiente al cabo montado sobre él.



**Figura 2-2 Winch con un cabo fijado en el *self* y la maneta**

Recibe el nombre de grillete el elemento metálico con pasador en rosca, de múltiples usos que generalmente permite unir un cabo con otro elemento de la embarcación. Actualmente también existen grilletes textiles. Otro elemento metálico de unión pero de apertura automática es el mosquetón, que permite unir dos elementos de forma más rápida que un grillete tanto en su enganche como en su liberación.

El piano es un conjunto de *stoppers* que son elementos firmemente sujetos a la cubierta por el interior de los cuales pasan un cabos reenviados generalmente desde el palo y que están provistos de una palanca cuya función es la de permitir estando abierto que el cabo circule libremente y estando cerrado permite tirar del cabo o cazarlo pero no permite que se afloje. Entre los cabos reenviados al piano se encuentran las distintas drizas de las velas, los cabos de los rizos o el pajarín. Otro elemento de fijación es la mordaza un elemento con efecto de pinza que sujeta un cabo e impide que se afloje, sin necesidad de atarlo.



Figura 2-3 Conjunto de stoppers que forman un piano

Otro elemento de fijación es la mordaza un elemento con efecto de pinza que sujeta un cabo e impide que se afloje, sin necesidad de atarlo.



Figura 2-4 Mordaza

Se entiende por carro del escotero un raíl por el que se puede deslizar el escotero, una polea situada en cubierta por la que pasa una escota. Generalmente en un barco existe dos para el génova, uno a cada banda colocados de proa a popa y otro para la escota de la mayor que también recibe el nombre de barra-escota de la mayor y se coloca en dirección babor-estribor. Se trata de un elemento de gran ayuda para el trimado de la mayor.

La cabuyería es el conjunto de cabos del barco, escotas y drizas. Las escotas son cabos utilizados para el trimaje de las velas y las drizas para izarlas o arriarlas.

## 2.2 PARTES DE LA VELA

La vela triangular dispone de tres vértices, que reciben el nombre de puños, y por tanto también de tres bordes entre ellos. El puño de driza es el superior, por el que se iza la vela. El puño de amura es el de proa por el que se sujeta la vela a la unión del palo con la botavara en el caso de la vela mayor o a la proa del barco, en el del génova o foque. El puño de escota es el de popa, en el que se sujetan las escotas.

El pujamen es el borde o lado inferior de una vela. La baluma, el lado o caída de popa de una vela, por el que sale el flujo del viento. Por último, el grátil es el lado de la vela que queda relingado a lo largo del palo o del *stay*, lado por el que entra el flujo de viento.

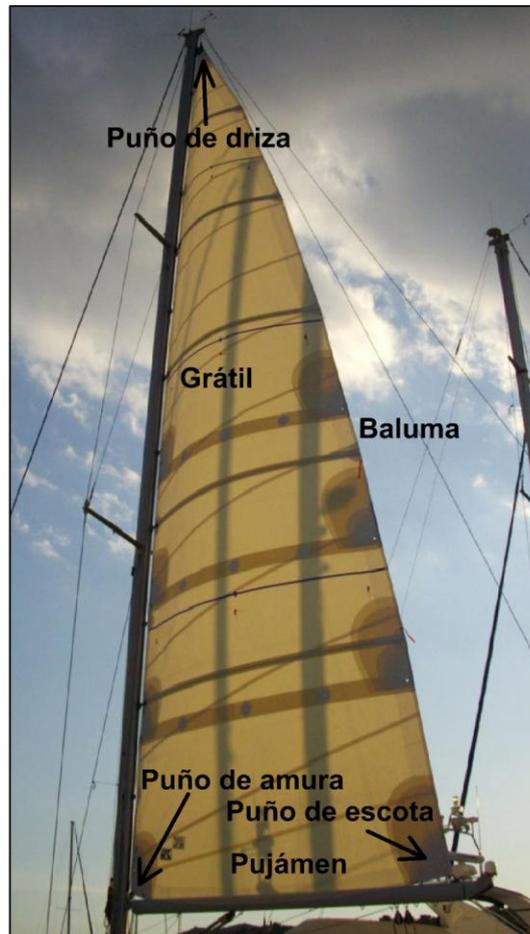


Figura 2-5 Puños y bordes de la vela

### 2.3 ELEMENTOS DE LA VELA

Los sables son listones de material ligero y flexible, generalmente de fibra, que se colocan en unas fundas cosidas a la vela, perpendiculares a la baluma de la vela, cuya finalidad es evitar el flameo de la baluma por causa del alunamiento o curvatura de la vela que sobresale de la línea recta imaginaria que va desde el puño de driza hasta el puño de escota.

Los refuerzos son zonas donde hay un mayor número de capas de tejido situadas en zonas puntuales. Forman un rizo el conjunto de dos refuerzos con ollao, anilla envuelta por la vela por la que pasa un cabo, situados en el grátil y baluma de las velas a modo de puño de escota y de amura, para reducir la superficie vélica cuando el viento es demasiado fuerte. Las matafiones son los cabos o cinchas que se utilizan para recoger la vela sobrante después de rizar una vela. Un refuerzo puntual situado en el grátil recibe el nombre de media-luna. En la vela además de los refuerzos también se añaden trozos de lana, que reciben el nombre de lanitas que indican si la vela está bien trimada. Estas lanitas se suelen situar de tres en tres a distintos niveles de la vela y en la baluma. Otro elemento de ayuda al trimaje son las bandas de

*trimming* o bandas de profundidad, unas tiras, normalmente de algún color que se colocan en las velas de forma paralela al pujamen y que van desde el grátil a la baluma.

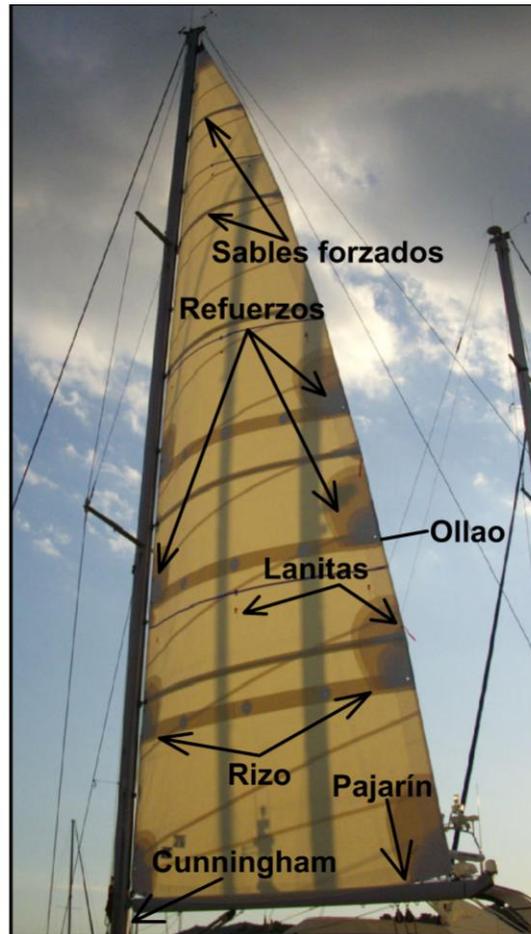


Figura 2-6 Elementos de la vela

La relinga es un cabo o cable situado en el interior del grátil de la vela para encarrilarlo o relingar. El pajarín es un cabo que une el puño de escota de la vela mayor con el extremo de más a popa de la botavara, este cabo es regulable, lo que permite desplazar el puño a lo largo de la botavara y regular el embolsamiento del pujamen. El *Cunningham* es un cabo utilizado para regular la tensión del grátil sin modificar la tensión de la driza. El balumero es un cabo regulable que recorre la baluma de la vela con el fin de evitar las vibraciones causadas por el viento.

### 2.3 RUMBOS DE NAVEGACIÓN

Una embarcación de vela no puede navegar directamente contra el viento, ya que entonces las velas flamean y el barco no avanza. Ceñir consiste en navegar formando el menor ángulo posible con respecto al viento, aproximadamente 30°. En este rumbo de navegación las velas van lo más cazadas posible, lo que significa que irán lo más próximas posible al eje de cruz.

Navegar formando con el viento un ángulo de unos 60°, recibe el nombre de "navegar a un descuartelar". Las velas van un poco más abiertas que en ceñida. Cuando se navega formando un ángulo de 90° con el viento se navega al través, el viento aparente se recibe justo por el

costado. Navegando a un largo se recibe el viento aparente con un ángulo de  $120^\circ$ , por la aleta. Cuando se navega recibiendo el viento por la popa se denomina navegar de popa o empopada. Si el viento entra formando exactamente  $180^\circ$  recibe el nombre de popa cerrada.

Las velas irán lo más cazadas posible en rumbos de ceñida, y lo más abiertas posible con viento de popa. Es decir, a medida que se va orzando, se van cazando las velas y según se vaya arribando se van largando o soltando las escotas. Para un buen trimado de las velas estas deben estar lo más abiertas posible sin llegar al punto de flameo.

Aunque la optimización para el máximo aprovechamiento del viento es algo que se perfecciona con la experiencia, generalmente al navegar con poco viento, tanto escotas como drizas, y todo en general debe llevar poca tensión, para llevar las velas más embolsadas. La tensión se va aumentando según va incrementando la intensidad del viento, y por lo tanto se van aplanando las velas.

## **CAPÍTULO 3. FUNDAMENTOS FÍSICOS PARA EL DISEÑO DE LAS VELAS**

### **3.1 FLUIDOS EN MOVIMIENTO**

Un velero se mueve en el límite entre el aire y el agua, estando inmerso en parte en cada uno de ellos. Al incidir un flujo sobre cuerpos sólidos, se originan unas fuerzas determinadas sobre los mismos. En el estudio de velas y cascos, resultan fuerzas ejercidas por el aire y el agua, llamadas respectivamente aerodinámicas e hidrodinámicas.

El aire y el agua son fluidos, medios continuos homogéneos isótropos que no admiten discontinuidad en su equilibrio y que, en reposo, en un punto determinado, la intensidad de la presión no depende de la dirección. Respecto a los barcos, que se mueven sobre la superficie del agua, tanto el aire como el agua se comportan como medios incompresibles.

Para representar y explicar el modo en que se produce el paso del aire y del agua alrededor de un obstáculo, se puede seguir al fluido en su evolución. Cuando el fluido se encuentra en movimiento, la velocidad de las partículas varía en el transcurso del tiempo, al igual que en el espacio. Como consecuencia se producen rotaciones y deformaciones del campo fluido, también llamados torbellinos. La continuidad del medio, agua o aire, origina que un cambio local se propague evolucionando en el tiempo y en el espacio.

Se denomina turbulencia a cualquier fenómeno desordenado que se produce dentro de una situación relativamente fluida y estable. En función de la escala se distinguen distintos tipos de turbulencias. Por un lado, las turbulencias atmosféricas corresponden a un flujo turbulento de la atmósfera a escala planetaria. En menor escala, existen otros tipos de turbulencias. En el caso de los veleros, las velas, además de las turbulencias atmosféricas, sufren las turbulencias que causan las otras velas y las superestructuras situadas más a barlovento.

Con motivo de un cambio de dirección, se originan frentes de turbulencias que se reparten dentro del flujo de forma continua, se producen cerca de una superficie, y corresponden a la velocidad de rotación sobre sí mismas de las partículas fluidas apresadas dentro de un fluido rápido y de un fluido más lento, como consecuencia del rozamiento con dicha superficie. Detrás de una vela, una turbulencia al despegarse modifica un poco el flujo y cambia sensiblemente la fuerza resultante de la propia vela. Se clasifican por su intensidad turbulenta o por la circulación de velocidad. Corresponden a una velocidad de rotación local del fluido. Desempeñan un papel decisivo en la navegación en ciertos rumbos, ya que gracias a ellos se produce una fuerza de sustentación, ya sea aerodinámica o hidrodinámica, que interviene en la propulsión del barco.

La difusión, es decir, la interpenetración de fluidos a nivel molecular, el rozamiento y las mezclas inevitables originan que, sobre una vela los flujos de aire sean siempre turbulentos. A escala milimétrica se producen fenómenos de desorden, falta de permanencia y mezclas con partículas vecinas. Un flujo laminar es aquel en el que los filetes de fluidos están bien ordenados sin mezclarse.

De forma experimental, se ha llegado a la siguiente conclusión: cuando las fuerzas de inercia son mayores que las fuerzas de viscosidad, se produce una turbulencia. La fórmula del número de Reynolds establece una relación entre ambas fuerzas.

$$Re = \frac{\rho \cdot v_m \cdot D}{\mu}$$

Siendo  $\rho$  densidad media del fluido en Kg/m<sup>3</sup>,  $v_m$  la velocidad media del fluido en m/s,  $D$  el diámetro interno de la tubería en m y  $\mu$  la viscosidad absoluta del fluido en N·s/m<sup>2</sup>

Se ha establecido que cuando  $Re$  es inferior a 2000, el flujo es laminar, y cuando es superior a 3000 es turbulento.

En lo que respecta al barco, la viscosidad, tanto del aire como del agua, es responsable de la formación de turbulencias, así como de la difusión en el flujo.

### **3.1.1 EL VIENTO**

#### **3.1.1.1 DEFINICIONES**

La definición de viento es: corriente de aire que se produce en la atmósfera por causas naturales como una variación de presión.

El viento es la fuerza de energía que utilizan los veleros, genera la fuerza para que puedan avanzar. Lo que generalmente se conoce como viento es un movimiento del aire que se percibe en un lugar de observación que no se mueva. Este viento, en la navegación, recibe el nombre de viento atmosférico o real o *true wind*. Es el que se percibe cuando un barco está fondeado o amarrado. También recibe el nombre de viento meteorológico.

Al navegar, el viento se percibe de forma diferente a causa de la composición de las velocidades del propio viento y de la velocidad del barco (ver Figura 3-1). Como resultado surge un nuevo viento que es la suma vectorial de los dos anteriores, y recibe el nombre de viento aparente o *apparent wind*.

El viento velocidad es el viento generado por el movimiento o la propia velocidad del barco.

Vectorialmente se estudian los distintos tipos de vientos por los que se ve afectado un barco a través de la velocidad de cada uno de ellos y el ángulo con respecto al rumbo que sigue el barco. De esta forma se obtiene del viento real el TWS (*True Wind Speed*) y TWA (*True Wind Angle*) y del aparente, el AWS (*Apparent Wind Speed*) y AWA (*Apparent Wind Speed*).

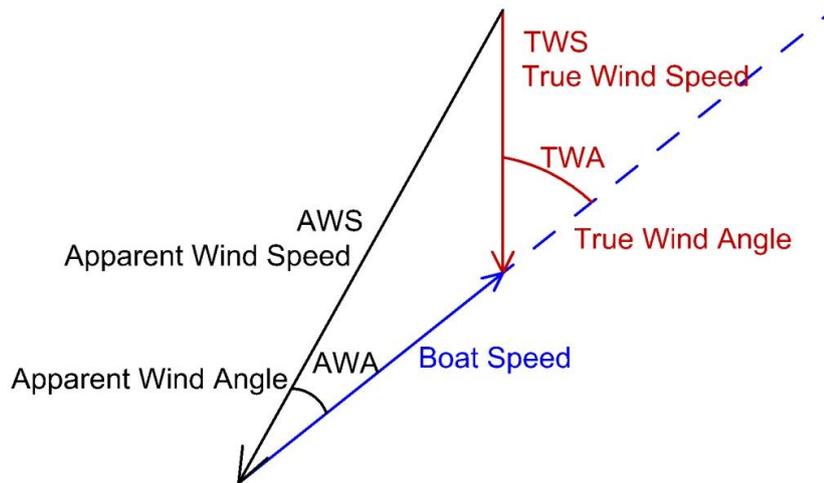


Figura 3-1 Composición de velocidades del viento y del barco

### 3.1.1.2 MEDICIÓN DEL VIENTO

Internacionalmente, la velocidad del viento se indica en nudos, aunque en algunas partes meteorológicas se indica según la escala Beaufort. En aerodinámica se calcula en metros por segundo y también se utilizan los kilómetros por hora o los nudos. Las distintas velocidades del viento se clasifican, según los valores medidos o estimados en la escala de fuerza del viento creada en 1805 por el almirante británico Beaufort.

Número de Beaufort	Velocidad del viento	
	Nudos	Km/h
0	< 1	0 a 1
1	1 a 3	2 a 5
2	4 a 6	6 a 11
3	7 a 10	12 a 19
4	11 a 16	20 a 28
5	17 a 21	29 a 38
6	22 a 27	39 a 49
7	28 a 33	50 a 61
8	34 a 40	62 a 74
9	41 a 47	75 a 88
10	48 a 55	89 a 102
11	56 a 63	103 a 117
12	64	118

Figura 3-2 Tabla de la escala de Beaufort

Al observar la escala de Beaufort debe tenerse en cuenta que la fuerza del viento no crece de forma lineal, sino que crece de forma progresiva con el cuadrado de la velocidad del viento. Un pequeño aumento de la velocidad del viento genera un considerable incremento de la fuerza del viento.

Otro factor a tener en cuenta del viento es su gradiente vertical. Se produce una reducción de la velocidad del viento atmosférico de arriba abajo. Debido a estos gradientes verticales del viento, las velas izadas en palos altos están sometidas a distintas velocidades del viento. A la altura de la botavara habrá una fuerza diferente que en la zona central o a tope de palo. Cuanto menor sea la velocidad del viento, menores serán las diferencias con relación a la altura, es decir a mayor fuerza del viento, más efecto sobre el gradiente vertical respecto de la diferente velocidad del viento.

### **3.2 ESTUDIO DE LA MECÁNICA DE UN VELERO**

El estudio de las acciones y reacciones que suceden en la interacción de una vela y el viento de su alrededor, ha podido llevarse a cabo tras años de estudio de las leyes del medio.

El principio de continuidad establece que las moléculas fluidas se mantienen solidarias. La capa límite ha sido definida como el espacio comprendido entre las líneas de corriente a una velocidad estándar y la superficie de un cuerpo en la que la velocidad es nula. Existe un punto de transición, que no es fijo, en el que el flujo deja de ser laminar y pasa a ser turbulento, siendo el flujo turbulento más lento. Estos cambios de velocidad influyen sobre las presiones.

En 1738 Daniel Bernoulli en su obra "*Hydrodynamica*"<sup>1</sup> expresa que la energía que posee un fluido ideal, sin viscosidad ni rozamiento, en régimen de circulación por un conducto cerrado, permanece constante a lo largo de su recorrido.

El efecto Venturi se explica por el principio de Bernoulli y el principio de continuidad de masa. Si el fluido mantiene su caudal pero la sección disminuye, la velocidad aumenta tras atravesar el estrechamiento. De manera inversa, la corriente se ralentiza cuando aumenta la sección.

La vela es un plano portante que se encuentra perpendicular al flujo de aire, es un perfil semirrígido compuesto de superficies blandas, sujetas a componentes rígidos, como el mástil y la botavara, o a componentes reforzados, como los sables. Cuando el perfil de la vela recibe el flujo de aire con un ángulo aproximado de 15° con respecto al viento aparente, el flujo se divide en dos. Una parte fluye por el lado anterior de la vela, que debido al embolsamiento, el perfil se alarga y el flujo de aire se ralentiza. Por el contrario, en la cara posterior, es decir a sotavento, el flujo de aire se comprime y como además debe rodear la curvatura de la vela y recorrer más camino hacia la baluma, y por tanto, la velocidad del flujo aumenta. Como consecuencia de la reducción de la velocidad del aire a barlovento y el aumento a sotavento, se origina un aumento de presión a barlovento y una reducción de la presión a sotavento de la vela.

La fuerza de la vela se genera gracias a la diferencia de la velocidad del aire entre barlovento y sotavento. Cuanto mayor sea el embolsamiento de la vela, más fuerza podrá generar, ya que la diferencia de recorrido entre el flujo de barlovento y sotavento es mayor y por tanto, le ocurrirá lo mismo a la diferencia de velocidades. Puesto que la compensación de presión no puede producirse a través de la vela, toda la vela intenta desviarse en dirección a la subpresión.

---

<sup>1</sup> *Hydrodynamica* es un libro publicado por Daniel Bernoulli en 1738. El título del libro, acabo por dar nombre al campo de la mecánica de fluidos que hoy se conoce como hidrodinámica.

El efecto de estas presiones locales varía en función de la forma de la vela, es decir, para una vela con un perfil plano, se genera más fuerza con un ángulo de viento pequeño y la fuerza global se encuentra más adelantada. En una vela embolsada, la mayor fuerza se produce con un ángulo de viento grande y la fuerza global está más retrasada. La potencia de una vela embolsada es mayor que la de una vela plana. La base de la fuerza siempre se encuentra cerca del gratil y actúa mediante el centro vélico, cuya posición no es constante. El centro vélico no coincide con el centro de gravedad vélico, por tanto, cada trimado de las velas tiene diferentes cualidades que lo adecuan para determinados rumbos con respecto al viento y determinadas velocidades de viento.

Las fuerzas de presión distribuidas en el lado de sotavento y barlovento de la vela se pueden medir usando manómetros, tanto en modelos de vela en túneles de viento como en una vela de un barco en movimiento. Estas medidas se acostumbra a hacer en distintas alturas de la vela. El objetivo de encontrar la distribución de la presión en las velas es obtener información relevante para el diseño de velas así como para el trimado de las mismas.

Las diferencias de presión en un perfil sometido a un flujo también se han investigado en ensayos realizados en túneles de aire. Se ha demostrado que la fuerza del aire en una vela aumenta con el cuadrado de la velocidad del viento.

Czesław Antony Marchaj<sup>2</sup> colocó un perfil vélico en un túnel de aire y demostró que si se estrecha la sección del flujo a la mitad, la velocidad del viento se duplica. Debido al cambio de dirección del flujo de aire, el viento se acelera y, en consecuencia, las fuerzas de presión también varían.

El beneficio que se pueda obtener de la velocidad del viento atmosférico depende de la superficie vélica que se exponga al flujo de viento, su forma óptima se obtiene con el barco totalmente adrizado. Cuanto más escora un barco, más se reduce la superficie útil y menos viento puede aprovechar la vela, con lo que se reduce la fuerza vélica. Con un 30% de escora, la pérdida de superficie es de un 13%.

Otro efecto secundario negativo de la escora es la variación del ángulo de incidencia de la vela causada por la inclinación del palo. El ángulo de incidencia más efectivo es de 20° respecto al viento relativo de a bordo que se consigue cuando el barco está adrizado y se reduce a la mitad si el barco escora unos 25°. Asimismo también cambia el embolsamiento de las velas, influyendo en la potencia específica de las velas.

Se distinguen dos tipos de esfuerzos que actúan sobre un velero.

- Esfuerzos directos o aerodinámicos
- Esfuerzos indirectos o mecánicos

---

<sup>2</sup> Czesław Antony Marchaj es un regatista y profesor cuyo estudio científico de la aerodinámica y la hidrodinámica de veleros ha sido muy influyente en diseñadores de yates, veleros y aparejo. Autor de una obra clásica "*Sailing Theory and Practice*" y aproximadamente 60 otras publicaciones sobre la vela.

### 3.2.1 ESFUERZOS DIRECTOS

La resultante de todas las fuerzas aerodinámicas que se ejercen sobre la vela es la fuerza vélica. El punto de aplicación de esta fuerza no es el centro geométrico de la vela, sino que recibe el nombre de centro vélico. Este centro vélico se desplaza con la distribución de las presiones que actúan sobre la vela, que a su vez dependen de la forma de la vela y de su reglaje.

Como ejemplo, en un rumbo concreto como la ceñida, para un génova, su centro vélico está situado por delante y por encima de su centro geométrico. Con las mismas condiciones, para una vela mayor su centro vélico se encuentra retrasado respecto al geométrico.

Los flujos de aire o agua generan fuerzas, la mayoría de las veces tridimensionales.

#### 3.2.1.1 FUERZA AERODINÁMICA

Cuando el viento choca contra la vela se desvía de su dirección inicial. Según el principio de acción y reacción, la vela ejerce una fuerza sobre el viento para desviarlo y el viento ejerce una fuerza sobre la vela, una fuerza igual y opuesta a la anterior.

Al incidir una vela en una zona de viento constante se produce una deflexión en las proximidades inmediatas de la vela. El aire que circula a barlovento de la vela sufre una compresión al desviarse. La cara de sotavento está sometida a un efecto de succión. Los dos efectos anteriores constituyen la fuerza total que ejerce el viento sobre la vela, la fuerza aerodinámica.

En cuanto a la orientación, la fuerza que ejerce un fluido en movimiento sobre un plano en perpendicular al mismo, sea cual sea el ángulo de incidencia. Por lo tanto, la fuerza aplicada en cada punto de la vela es perpendicular a la superficie próxima a dicho punto. En la práctica, la resultante de todas las fuerzas de presión y succión es notablemente perpendicular a la cuerda de la vela.

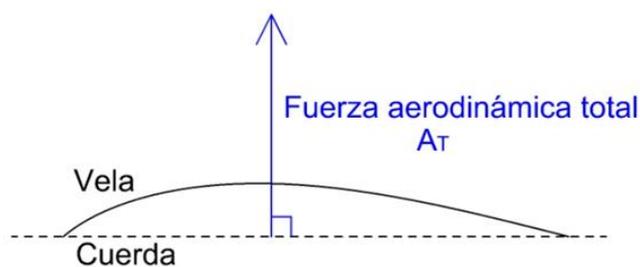


Figura 3-3 Dirección de la Fuerza aerodinámica total

Para determinar la magnitud de la fuerza aerodinámica se tendrá en cuenta que es proporcional tanto a la superficie de la vela como al cuadrado de la velocidad del viento. Cuanto mayor es el ángulo en que la vela desvía al viento, la fuerza aerodinámica aumenta en un primer momento, pero a partir de un determinado ángulo de incidencia, disminuye bruscamente. Para ángulos cada vez mayores, se mantiene un valor muy débil y sensiblemente constante.

### **3.2.1.2 FUERZA HIDRODINÁMICA**

En cuanto a la fuerza hidrodinámica, la quilla actúa en el agua de forma parecida a la vela en el aire. En lugar de un fluido que pasa sobre una superficie, se trata de una superficie que pasa por un fluido. Con el avance de un barco, su quilla se mueve dentro del agua con una determinada incidencia, denominada ángulo de deriva. Como reacción, este recoge una fuerza que incide más o menos de forma perpendicular en su superficie. Esta fuerza se denomina fuerza hidrodinámica y es, de alguna forma, homóloga a la aerodinámica.

Al igual que la forma de flujo de los filetes de aire sobre la vela está asociada al ángulo de incidencia formado entre la vela y el viento, también el régimen de flujo de los filetes del agua sobre la quilla está relacionado con el ángulo de abatimiento, si es pequeño el flujo es regular y los filetes de agua circulan a lo largo de la quilla. Existe un valor de ángulo crítico, a partir del cual el flujo es perturbado y se producen grandes turbulencias y el barco presenta mayor abatimiento.

La fuerza hidrodinámica se ejerce de una manera diferente según sea el flujo de agua regular o perturbado. La magnitud de dicha fuerza es aproximadamente proporcional a la superficie de la quilla y en función de si el régimen es regular o turbulento será proporcional al cuadrado de la velocidad del barco, cuando sea regular y proporcional a la velocidad de deriva cuando el flujo es perturbado.

### **3.2.1.3 DESCOMPOSICIÓN DE LAS FUERZAS**

Las fuerzas vistas hasta el momento pueden ser descompuestas en dos direcciones. Una de las direcciones es la de la línea de crujía del barco, y la segunda en sentido perpendicular a la anterior.

La fuerza aerodinámica total resultante  $A_T$  generada por las velas se puede descomponer en dos componentes. Estas componentes son:

- Fuerza propulsiva  $A_P$  que actúa en la dirección del curso de la navegación.
- Fuerza de escora o abatimiento  $A_H$  que actúa de forma perpendicular al mástil y a la dirección de navegación.

El punto de aplicación de la fuerza aerodinámica y sus componentes coincide, recibe el nombre de centro vélico  $CV$ .

La fuerza hidrodinámica total  $H_T$  puede descomponerse en:

- Fuerza de resistencia al avance  $H_R$  que actúa en la dirección del curso de navegación pero en sentido contrario.
- Fuerza de antideriva  $H_H$

En casos sencillos, los puntos de aplicación coinciden en el centro de carena  $CC$ .

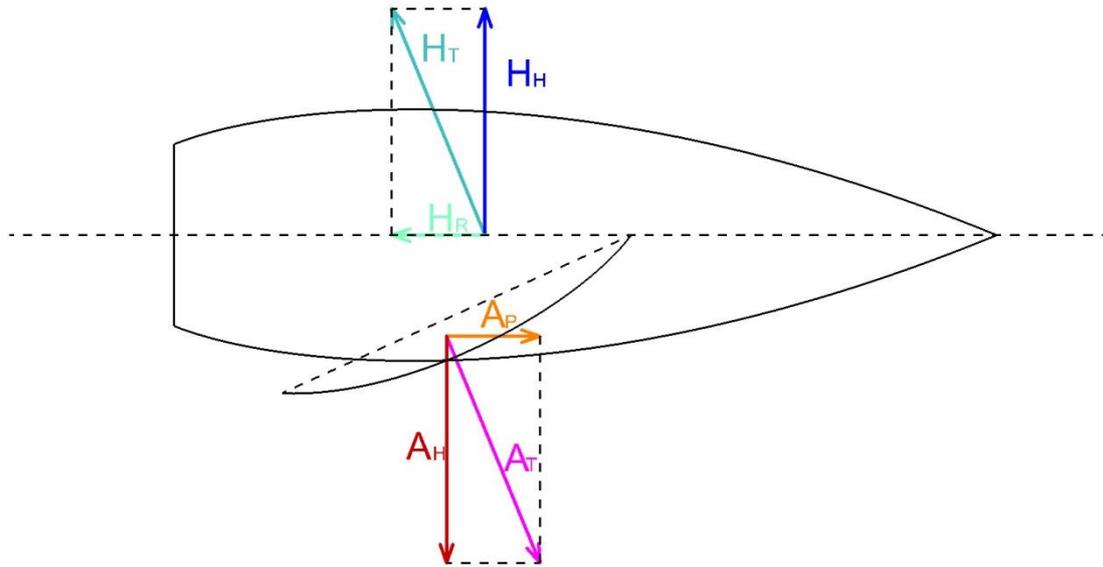


Figura 3-4 Descomposición de la fuerza hidrodinámica y aerodinámica

La fuerza de escora  $A_H$  se puede descomponer en dos más, la magnitud de las cuales depende del ángulo de escora  $\theta$ .

- Fuerza lateral  $A_{LAT} = A_H \cos \theta$
- Fuerza vertical  $A_{VERT} = A_H \sin \theta$

A su vez, la fuerza antideriva  $H_H$  también puede descomponerse de forma homóloga en dos componentes dependientes del ángulo de escora  $\theta$ .

- Fuerza lateral  $H_{LAT} = H_H \cos \theta$
- Fuerza vertical  $H_{VERT} = H_H \sin \theta$

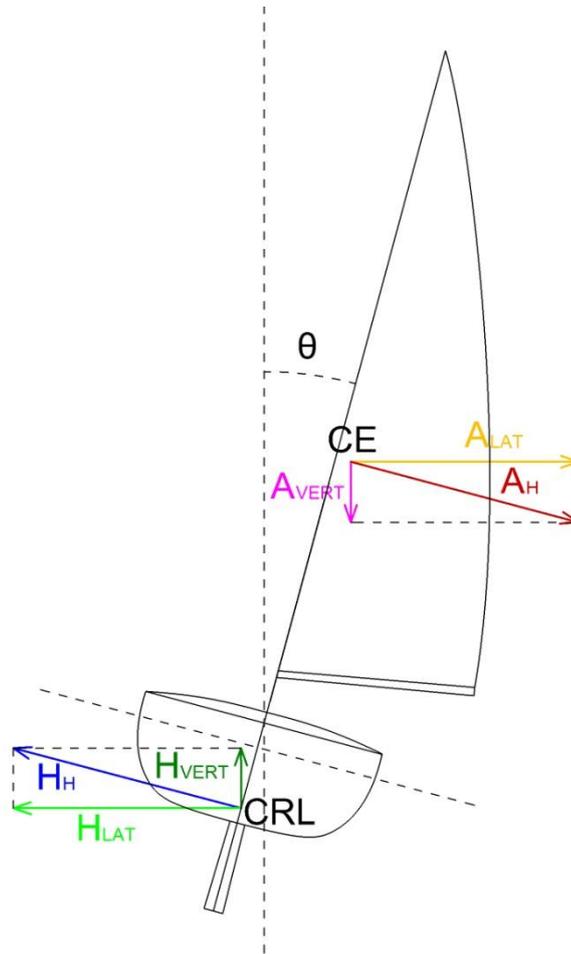


Figura 3-5 Descomposición de la fuerza de escora y antideriva

Se puede considerar, en términos generales, los efectos de estos componentes de la fuerza en el comportamiento de un velero. El barco se moverá en la dirección de navegación con una velocidad  $V_s$ . Su magnitud depende de la fuerza propulsiva  $A_P$ , es directamente proporcional.

La escora del barco está determinada por el ángulo  $\theta$  que depende de la magnitud del momento de escora  $M_H = A_H \cdot h$

Siendo  $h$  la distancia medida a lo largo del mástil, entre el centro de esfuerzo  $CE$  de la fuerza aerodinámica total  $A_T$  y el centro de resistencia lateral  $CRL$ , punto en el que se aplica la correspondiente fuerza resultante del casco  $H_T$ . Hay que tener en cuenta que el incremento de  $A_H$  o  $h$  producirá un incremento en la escora del barco.

El balance direccional del barco se puede medir con la cantidad de timón que se necesita para mantener un rumbo. El balance se obtiene cuando la fuerza total aerodinámica  $A_T$ , y la fuerza hidrodinámica resultante  $H_T$  actúan a lo largo de la misma línea recta. Se arriba si  $CE$  se encuentra por delante de  $CRL$ . De todos modos, el incremento de  $A_H$  provoca más inestabilidad.

Gracias a los experimentos llevados a cabo en distintos barcos, en túneles de viento y también gracias a la teoría de la aerodinámica, se ha establecido que las tres características de una fuerza aerodinámica (magnitud, dirección y centro del esfuerzo) dependen de:

- La presión dinámica del viento aparente  $q$ .
- El área de la vela  $S_A$ .
- La posición angular de la vela o velas, relativa al viento aparente conocido como el ángulo de incidencia  $\alpha$ .
- La geometría de la vela.
- El material con el que se fabrica la vela, características como su porosidad, suavidad o rigidez.

### **3.2.2 ESFUERZOS INDIRECTOS**

Las tensiones aerodinámicas repercuten sobre el contorno de la vela. La jarcia firme resiste más o menos bien, con el objetivo de mantener la vela con su forma y posición. La creación de esfuerzos indirectos forman nuevos ejes de tensión. Aunque están vinculados con los esfuerzos directos, son los más importantes para el material de la vela.

La vela mayor dispone de dos puntos de sustentación importantes, el mástil y la botavara. En el contorno de la vela, las fuerzas se pueden descomponer en fuerzas paralelas y perpendiculares a los lados. Las fuerzas paralelas son fuerzas indirectas y se controlan por la tensión de las relingas. Las fuerzas perpendiculares son directas y se controlan por la sujeción de la jarcia. En la baluma no se dispone de fijación y por tanto tampoco se dispone de sistema de control de dichas fuerzas. Por lo que las tensiones más fuertes se encuentran entre el puño de driza con el de escota.



**Figura 3-6 Principales líneas de esfuerzo**

En la confección de las velas de competición la disposición de las fibras intenta seguir las líneas principales de esfuerzo. El 60% de los esfuerzos totales percibidos por los materiales se concentran en el tercio trasero de la vela.

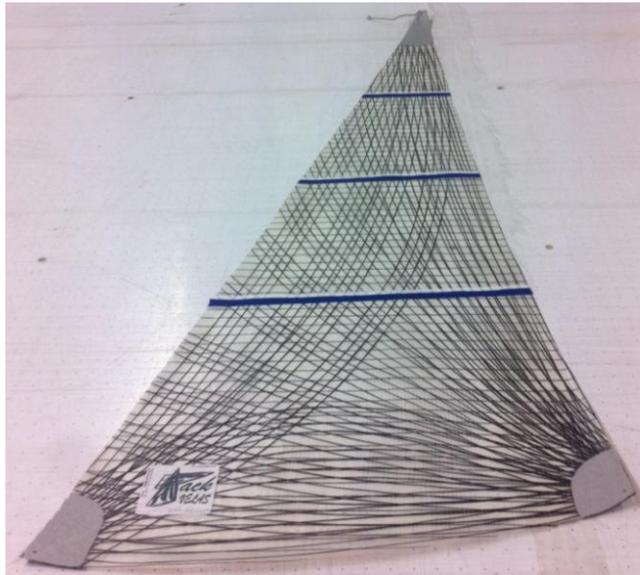


Figura 3-7 Fibras según los esfuerzos principales

En el caso de las velas con sables, los sables que se apoyan en el palo recuperan parte de las fuerzas perpendiculares. En este caso, la baluma presenta un mayor alunamiento, aun así, el control del embolsamiento se ve reforzado.

En el foque sólo se dispone de un sistema de fijación en uno de los lados, el del grátil, que depende de la tensión del *stay*. El grátil se opone a los esfuerzos perpendiculares. La baluma y el pujamen sólo están mantenidos por la tensión ejercida en el puño de escota.

En general, las tensiones paralelas registradas en el grátil sujeto son aproximadamente diez veces menores que las sujetadas por la baluma.

Los esfuerzos principales a los que está sometida una vela parten de tres ángulos, es decir, de los tres puños de fijación de la vela. Las tensiones más fuertes unen el puño de driza con el puño de escota.

### 3.3 INTERACCIÓN ENTRE LA VELA MAYOR Y LAS VELAS DE PROA

En principio, la vela de proa es un perfil aerodinámico independiente que debe trabajar con su ángulo de incidencia óptimo en el flujo de aire para generar una fuerza vélica. Sin embargo, bien trimado también influye efectivamente en el flujo a sotavento de la mayor, aumenta el efecto aerodinámico de toda la superficie vélica activando el flujo de aire entre ambas velas y aumenta la velocidad del barco gracias al incremento de la fuerza de empuje. En esta cooperación la vela de proa es de suma importancia.

Una vela obtiene su fuerza aerodinámica mediante la diferencia de presión entre el lado de sotavento y el de barlovento y esta fuerza crece con el cuadrado de la velocidad del viento. En un foque con un mínimo de solapamiento, el lado de barlovento ya trabaja con el flujo acelerado del aire que fluye a sotavento de la mayor y, puesto que el aire en el lado de sotavento del foque, análogamente a la vela mayor, ha de recorrer un camino más largo, debe fluir con más rapidez

que el aire, acelerado, a barlovento. Por tanto, se generan tres velocidades de flujo diferentes: una lenta a barlovento de la mayor, una acelerada entre el lado de sotavento de la mayor y el lado de barlovento del foque y una rápida a sotavento de la vela de proa.

La distancia entre ambos planos, tanto en dirección vertical como horizontal, depende de la cantidad de aire que se quiere canalizar. Esta distancia debe ser modificable, ya que las velas trabajan con velocidades de viento muy distintas. El canal de entrada de aire, dado por la distancia que hay en cubierta entre el palo y el *stay* y la altura del arraigo del *stay* en el palo, permanece invariable.

Sin embargo, puede variarse el canal de salida del aire captado. Por un lado, cambiando la distancia de la vela de proa con respecto al palo o la vela mayor, que está limitado por la manga del barco pero que puede cambiarse modificando la posición del escotero y la forma de la vela de proa, representada mediante la longitud del pujamen y el grado de solapamiento.

Si se intentara acelerar el aire estrechando excesivamente la sección en el canal de salida de una vela de proa con solapamiento, para aumentar la diferencia de presión entre el lado de barlovento de la mayor y el lado de sotavento de la vela de proa, las dos velas participantes no permitirían el intento: el espesor del paño de las velas no aguanta este ensayo y el aire, que no deja de compactar, ensancha su camino de salida doblando la baluma de la vela de proa hacia sotavento o, puesto que la baluma fuertemente tensada es más resistente que la superficie de la mayor, fluyendo por la parte de sotavento de la mayor y empujando el embolsamiento de la vela a barlovento, para conseguir de esta forma el espacio para fluir libremente. Este efecto puede verse a menudo en la parte superior de la mayor, porque aquí el canal se estrecha en dos niveles.

Por lo tanto, lo importante es elegir el tamaño de la vela de proa, la longitud de su pujamen y el diseño en la parte superior, de forma que en diferentes condiciones de viento siempre pueda fluir una cantidad de aire óptima entre estos dos perfiles aerodinámicos y las dos velas puedan suministrar la fuerza vélica máxima.

Una forma de cumplir estas condiciones es eligiendo la vela adecuada para unas condiciones determinadas o bien reduciendo la superficie vélica correspondiente. Con ventolinas, se puede estrechar el canal, es decir, se reduce la distancia entre la baluma de la vela de proa y la superficie de la mayor. Con viento fuerte se debe aumentar la distancia entre las superficies vélicas, por lo que, generalmente para este tipo de viento se utilizan velas con un pujamen más corto, sin solapamiento.

## **CAPÍTULO 4. VELAS Y APAREJO**

### **4.1 LA JARCIA**

En su sentido más general, designa el conjunto de mecanismos que contribuyen a la propulsión del barco: perchas, maniobras y velas. Por perchas se entiende palos, crucetas, botavaras y tangones. También comprende todos los cabos y cables que forman parte del aparejo de una embarcación y que sirven para sujetar, sostener o mover las piezas de la arboladura o las velas, sus sistemas de fijación y de reglaje, así como los herrajes de las crucetas y de la botavara. Se distingue entre jarcia firme y jarcia de labor.

Las características que se buscan en la jarcia que enarbola el barco son delgadez, para exponer al viento la menor superficie posible; ligereza, para reducir los momentos que debido a la altura ya son elevados por lo que es aún más importante que los elementos a mucha altura sean poco pesados para que la disminución de estabilidad sea menor; y resistencia.

#### **4.1.1 PERCHAS**

Se denomina perchas al conjunto compuesto por los palos o mástiles, crucetas, botavaras y tangones.

Los mástiles están colocados verticalmente en el plano longitudinal de una embarcación y su función es sostener las velas por el borde de proa (grátil) así como otras perchas. El palo mayor es el de mayor altura o principal de una embarcación.

Las crucetas son piezas que se colocan horizontalmente a babor y estribor de los palos y a cierta altura. Su función es dar mayor resistencia al palo, oponiéndose a su flexión y transmitiendo el esfuerzo a los obenques.

La botavara es una percha colocada en posición aproximadamente horizontal, que va unida por un extremo, sobre el cual gira, a la cara posterior del palo de una embarcación. En ella se enverga el borde inferior de una vela (pujamen).

El tangón es una percha que se engancha al palo por su cara de proa y que sirve para amurar un *spinnaker*.

#### **4.1.2 JARCIA FIRME**

La jarcia firme la componen los cabos o cables siempre fijos que, sirven para sujetar o sostener fundamentalmente los palos: *stays*, obenques y sus sistemas de fijación y reglaje; y los herrajes de las crucetas y de la botavara.

Los obenques se clasifican según si son verticales (V) o diagonales (D) pero además también se clasifican según la función que desempeñan.

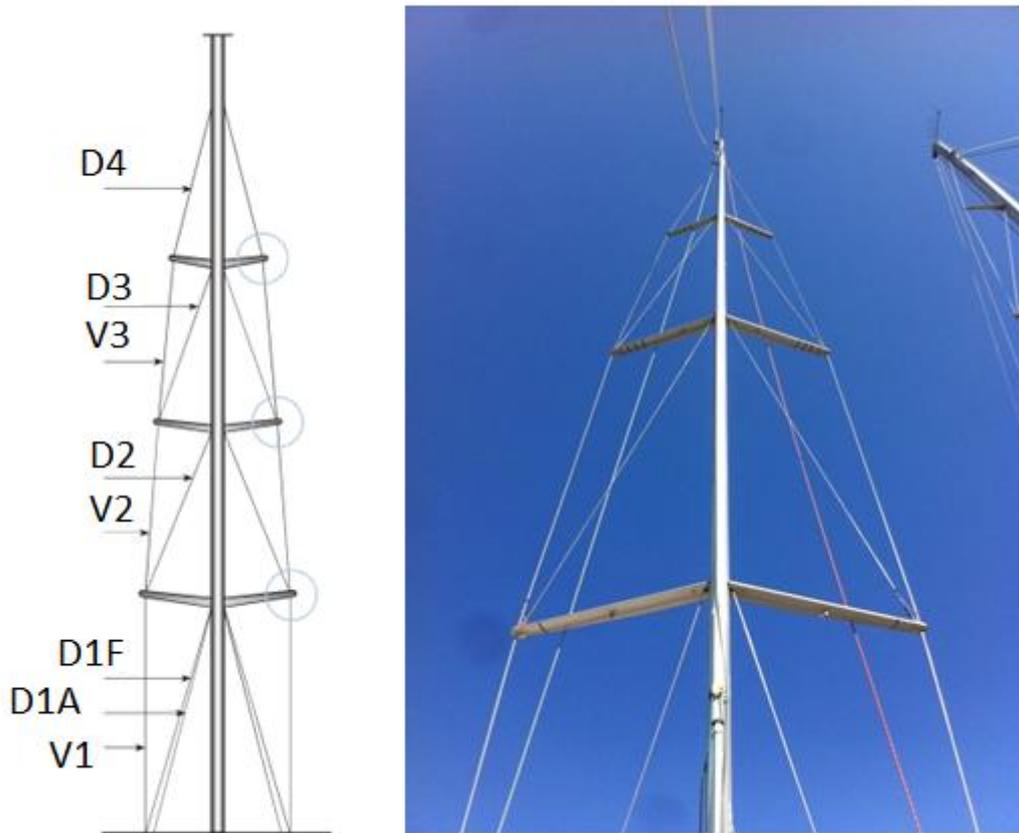


Figura 4-1 Esquema y fotografía de las disposiciones de los obenques

Se distingue entre:

- Obenques altos: Mantienen el mástil contra las cargas laterales (babor-estribor). Sus puntos de anclaje están cerca del tope sobre un aparejo a tope de palo, y al nivel del *stay* de proa sobre un aparejo fraccionado. Se dirigen a través de las crucetas hasta los cadenotes del barco. (V1-V3, D4).
- Obenques intermedios: Fijados sobre los aparejos de múltiples pisos de crucetas y de anclaje al mástil en la zona de las crucetas superiores. Equipados con enlaces al extremo de la cruceta inferior, en el caso de jarcia discontinua, o atravesando el extremo de la cruceta y bajando hasta la cubierta en el caso de jarcia continua. Mantienen la zona de crucetas superiores contra los movimientos laterales. (D2-D3).
- Obenques bajos: Su punto de anclaje en el mástil está en la zona de anclaje de las crucetas inferiores al mástil. Mantiene la zona de crucetas inferiores al mástil contra los movimientos laterales. Se distinguen entre obenque bajo de proa (D1F) y el obenque bajo de popa (D1A) para estabilizar también el mástil de proa a popa y proporcionar una determinada flexión del palo.

Los obenques sujetos a la cubierta tienen distintos tipos de puntos de anclaje y también distintas formas de tensarse.

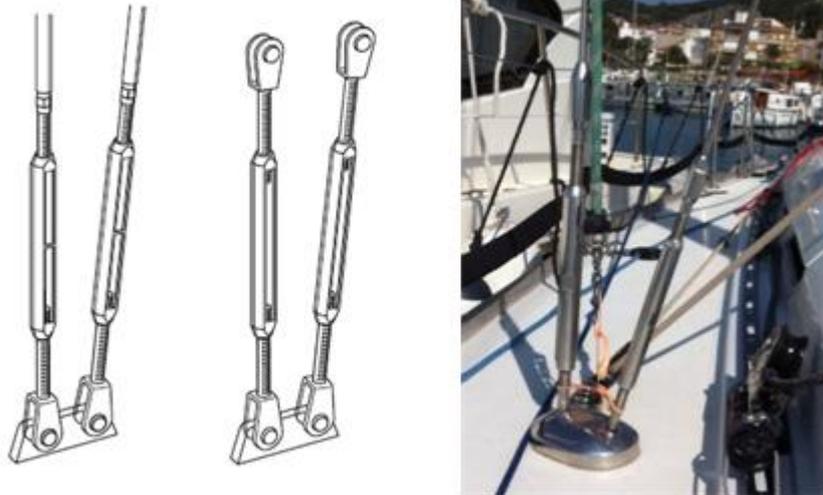


Figura 4-2 Ilustración y fotografía de distintos puntos de anclaje de los obenques Selden Mast

En el aparejo lateral también se distingue entre jarcia continua y discontinua, en función de la continuidad de los cables.

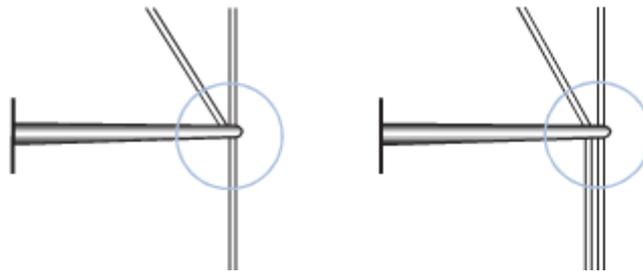


Figura 4-3 Ilustración de jarcia continua y discontinua Selden Mast

Existe una disposición, que recibe el nombre de violín, diseñada para veleros con un aparejo fraccionado. Las crucetas del violín están normalmente orientadas hacia delante. Esta disposición mantiene el tope del mástil, no sólo lateralmente sino también longitudinalmente. Este tipo de disposición puede ser necesaria al utilizar un *gennaker* o *spinnaker* o para estabilizar el tope de la vela mayor.



Figura 4-4 Ilustración de una jarcia con disposición violín Selden Mast

La fuerza que hacen los obenques para que el palo se mantenga en la vertical, depende del ángulo que hace el cable con el palo, justo en el tope del palo. Si el obenque llega al tope de forma casi vertical, la fuerza necesaria es muy grande, y habría que emplear obenques con secciones muy gruesas. La fuerza necesaria en los obenques para mantener el palo vertical, aumenta de forma brusca al bajar de los  $10^\circ$  de ángulo.

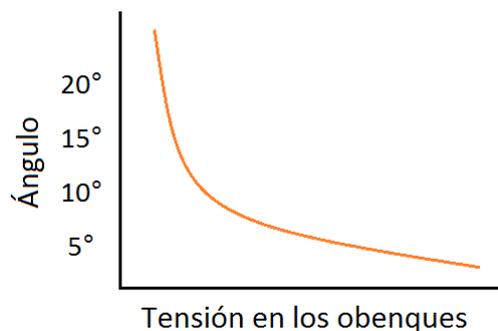


Figura 4-5 Gráfico de la tensión en los obenques y el ángulo de los mismos con el palo

Las crucetas permiten que el ángulo sea mayor, generalmente entre  $10$  y  $13^\circ$ , permitiendo que el obenque pueda ser más fino y que no salga del barco. El obenque tras llegar a la cruceta con el ángulo adecuado, es desviado hacia la cubierta. Este transmite a la cruceta un esfuerzo de compresión horizontal que tiende a combar el palo a su nivel. Por ello, es necesario encapillar a esta altura otro obenque, para mantener el palo en la vertical. Estos obenques bajos actúan como los altos pero se encargan de sujetar únicamente esta sección baja del palo. Este sistema puede utilizarse todas las veces que sea necesario, cada obenque forma un ángulo adecuado con el palo.

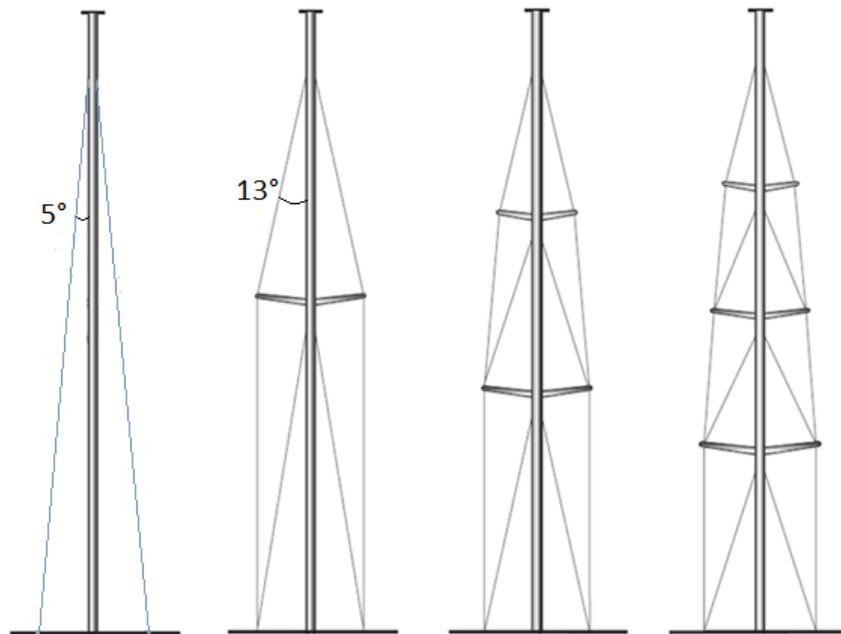


Figura 4-6 Ilustración de los ángulos de los obenques con el palo en función de la situación de las crucetas Selden Mast

Los veleros modernos tienden a tener un palo muy alto y un casco relativamente estrecho por lo que se hace necesario el uso de crucetas, hasta 4 o 5 pisos.

Es necesario todo un estudio técnico de tensiones y fuerzas que se calculan mediante programas computarizados, para que el palo soporte rachas muy fuertes y escoras exageradas.

Se suele cometer el error de disponer la cruceta de forma totalmente perpendicular al palo, ya que debe estar ligeramente orientada hacia arriba, de tal forma que coincida con la bisectriz del ángulo formado por los dos tramos del obenque.

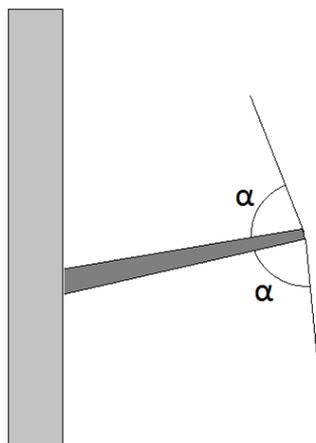


Figura 4-7 Orientación vertical correcta de las crucetas

En el plano horizontal, las crucetas pueden estar montadas en ángulo recto o formando un pequeño ángulo hacia la popa, crucetas retrasadas. En este caso no se trata de lograr una mejora estructural del palo, sino optimizar la disposición de las velas en la navegación. Este ángulo hacia popa que separa a la cruceta del plano principal del palo, hace que las crucetas además de trabajar en compresión, tengan que hacerlo también en flexión. Por ello es

necesario aumentar un poco su diámetro y perfilarlas para que aguanten estas cargas de flexión. Perfilarlas implica una mejora aerodinámica, ya que tienen el perfil de un ala simétrica.

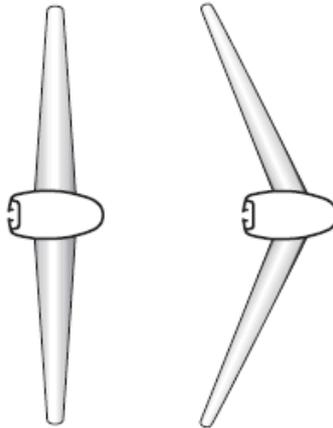


Figura 4-8 Ilustración de crucetas en ángulo recto y retrasadas  
Selden Mast

El *backstay* impide movimientos hacia delante del tope del palo. La tensión del *backstay* se ajusta utilizando un dispositivo tensor para controlar la flexión del mástil y la tensión del *stay* de proa. Para trimar el *backstay* se emplean aparejos y tensores mecánicos con diferente fuerza de tracción. En un barco aparejado a tope de palo, el efecto del tensor del *backstay* se limita principalmente al control de la tensión del *stay*. Una flexión visible del palo sólo se produce tensando con fuerza los obenques más a proa. En los aparejos fraccionados el tensor del *backstay* es un instrumento de trimado muy importante. Con sólo tensarlo un poco el palo adquiere la flexión deseada. El palo se arquea hacia proa en el centro mediante el tensor del *backstay*. De esta forma se alarga la cuerda del perfil de la vela se aplana, con lo que se aumenta la capacidad de ceñida del velero.

Los tensores de *backstay* deben ser de manejo simple y de efecto rápido para que, en diferentes rumbos o si se dan cambios repentinos de la fuerza del viento, puedan modificarse con rapidez. Por eso, suelen emplearse principalmente aparejos con mordazas.

El *stay* de proa impide los movimientos a popa del tope del palo. Su tensión se ve afectada por el *backstay*, los obenques altos (en aparejos con crucetas retrasadas), las burdas y el cazado de la vela mayor.

Las burdas consisten en dos cables atados a ambos lados del mástil que se ajustan mediante el uso de polipastos en sus extremos inferiores. La burda de barlovento está siempre bajo tensión. La burda de sotavento esta siempre un poco suelta, ya que si no interferiría con la vela mayor y la botavara. Las burdas fijadas cerca de la crujía del barco sólo afectan a la estabilidad de proa a popa de un mástil con crucetas en línea. Si están fijadas sobre los costados del barco también tienen efecto sobre la jarcia lateral. Se distinguen entre burdas altas y bajas.

El *stay* de mesana es el *stay* de proa para un mástil de mesana. Su punto de anclaje es el tope de palo y va hasta la cubierta, pasando por una polea que permite el ajuste de su longitud.

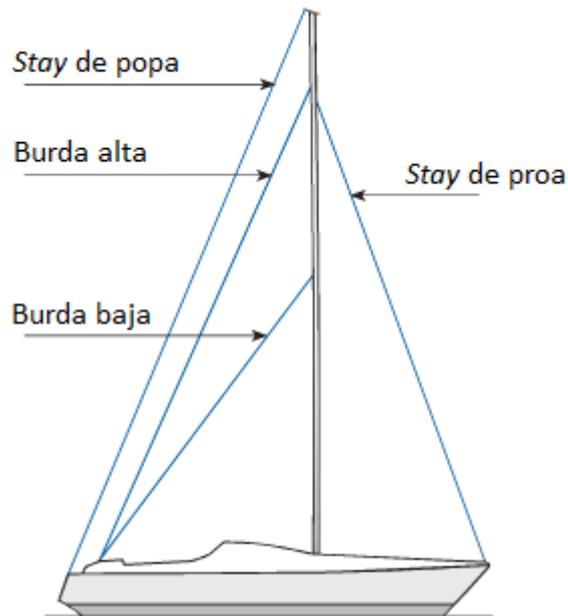


Figura 4-9 Principales elementos de la jarcia firme  
Selden Mast

#### 4.1.3 JARCIA DE LABOR

La jarcia de labor está compuesta por cabos o cables movibles que se utilizan para todo aquello que permite maniobrar las velas, colocarlas, orientarlas y modificar su forma y superficie. Están incluidas en este grupo las drizas, las escotas, y toda la cabuyería necesaria para la puesta a punto de un barco.

#### 4.2 TIPO DE APAREJOS

El objetivo de la navegación a vela es exponer al viento un velamen de la forma más eficaz posible, que esté adaptado al barco, a su tipo de navegación y a su tripulación. Los progresos en el campo de la aerodinámica, las restricciones económicas y la evolución tecnológica han llevado a adoptar en casi todos los casos una solución única: el aparejo *sloop* o balandro, compuesto por una mayor y un foque enarbolados en un sólo palo. También existen veleros con más de un mástil. Los aparejos también se clasifican según el tipo de obencladura, siendo los más comunes el aparejo a tope de palo o fraccionado.

##### 4.2.1 SEGÚN NÚMERO Y POSICIÓN DE LOS PALOS

Existen tres tipos de veleros de un solo mástil, *Catboat*, *Sloop* y *Cutter*.

Un *Catboat* consiste en un aparejo de un solo palo que sostiene una sola vela mayor. Al carecer de vela de proa, su posición se encuentra adelantada. En un *Sloop* el palo se encuentra más avanzado que el palo de un *Cutter*, y por tanto, el triángulo de proa de un *Sloop* es menor que el de un *Cutter*, por lo que un *Sloop* suele llevar una sola vela de proa mientras que un *Cutter* puede llevar más de una.

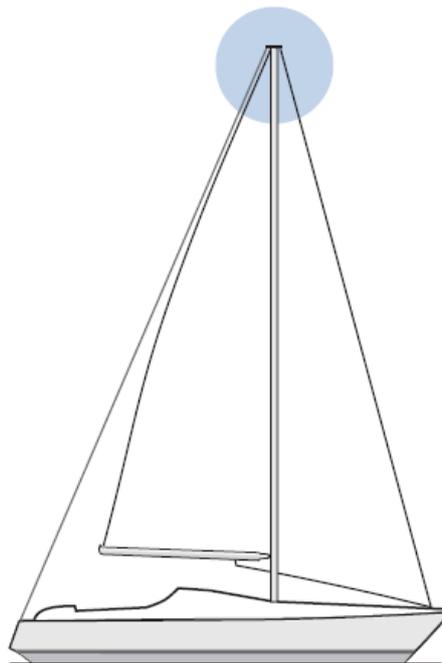
Con dos mástiles se distingue entre *Yawl*, *Ketch* y *Goleta*. Un *Yawl* es un tipo de velero en el que el mástil principal está acompañado, a popa, por el de mesana, que se caracteriza por ser muy pequeño y estar emplazado detrás de la rueda del timón. En un *ketch* el mástil principal está colocado en el tercio delantero del barco y el mástil de mesana, a popa, por delante de la rueda del timón. En una *goleta* el mástil principal está colocado en popa, por delante de la rueda del timón y su tamaño, normalmente, es mayor que el del mástil de trinqueta, posicionado en proa, en el tercio delantero del barco.

#### **4.2.2 SEGÚN EL TIPO DE OBENCLADURA**

##### **4.2.2.1 APAREJO A TOPE DE PALO**

En el aparejo a tope, los *stays* de proa y de popa, así como los obenquillos, van fijados a tope del palo. Debido a las grandes fuerzas de tracción de los *stays* y los esfuerzos de compresión que generan a lo largo de todo el mástil, éste debe ser muy resistente a la flexión. Están hechos con un perfil y sólo pueden curvarse dentro de unos límites muy estrechos. Por lo que significa que la vela para este tipo de aparejo deberá ser más plana, con menos embolsamiento.

La jarcia convencional de un palo aparejado a tope comprende: dos obenquillos, *stay* de proa y *backstay* fijo, dos obenques de proa y dos obenques de popa.



**Figura 4-10 Aparejo a tope de palo**

La característica de este tipo de aparejo es el largo y efectivo borde de ataque de la vela de proa, así como su gran tamaño, solapándose con la vela mayor incluso a popa del palo. La superficie vélica se puede repartir a mitades iguales entre la vela mayor y la vela de proa.

Puesto que en estos aparejos se usa de forma óptima la superficie por delante y por detrás del palo tanto geométrica como aerodinámicamente, la altura del palo y de todo el aparejo puede ser de un tamaño del 110% de la eslora total del velero.

#### 4.2.2.2 APAREJO FRACCIONADO

El aparejo fraccionado tiene el *stay* de proa fijado al palo por debajo del tope. Recibe el nombre de aparejo 7/8 aunque la expresión matemática 7/8 sólo tiene un significado histórico.

La ventaja del aparejo 7/8 con respecto al aparejo a tope de palo reside en la mayor capacidad de curvatura del palo, lo que permite ajustes mucho más eficaces del perfil de la vela mayor, a fin de adaptarla a las condiciones de viento y mar. La gama de trimados posibles es más amplia, así que puede embolsarse más la vela, lo que favorece el rendimiento del barco con vientos flojos. El embolsamiento puede volverse a reducir cuando soplan vientos fuertes gracias a la mayor flexibilidad del palo lo que favorece la navegación con mal tiempo. En general, los palos para aparejos 7/8 reducen su sección hacia el tope, con lo cual resulta más fácil curvarlos hacia popa, ejerciendo tensión con el *backstay*.

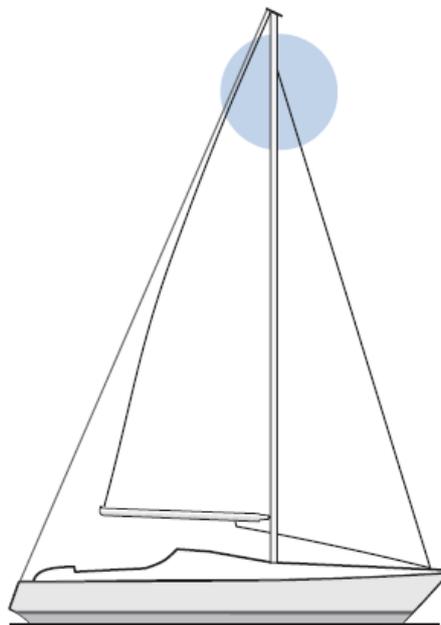


Figura 4-11 Aparejo fraccionado  
Selden Mast

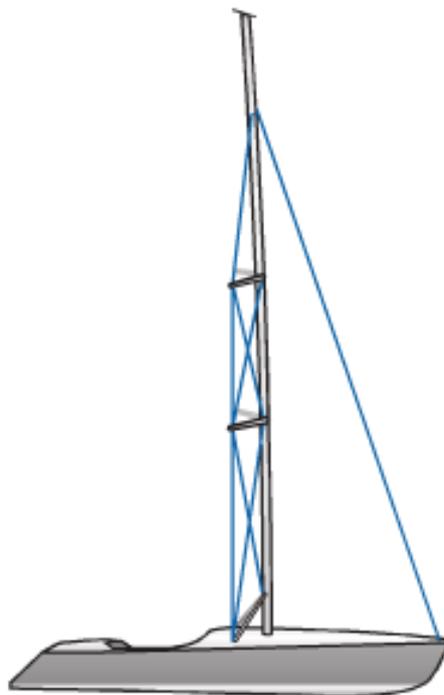
Con exceso de conicidad en el palo, la tracción del *backstay* actúa sobre todo en la parte superior del palo con lo que la parte alta de la vela queda bien aplanada y con la baluma abierta, el centro vélico baja y la embarcación navega más adrizada. Los palos con menos conicidad reaccionan de modo diferente cuando se tensa el *backstay*. La curvatura es menor en la parte superior del palo, distribuyéndose la tracción del *backstay* a lo largo de todo el palo. La curvatura queda repartida de modo más regular en toda la longitud del palo. Para que el velero pueda confeccionar una mayor de formas óptimas debe conocer con exactitud las características de curvatura del palo. Únicamente así puede hacer coincidir la curvatura de la caída de grátil y con ella el embolsamiento de la vela con la flexión del palo, para ello debe determinarse la máxima curvatura del palo.

Los aparejos flexibles con posibilidad de flexar el palo se ven de inmediato gracias a las crucetas retrasadas, unos 20 grados hacia popa por las que pasan los obenques altos hasta su arraigo.

En un velero con aparejo fraccionado el triángulo de proa es pequeño y la vela mayor domina en una relación de 60-40 %. Destaca el mayor alunamiento en el puño de driza de la mayor y el sable superior forzado. Los sables, que sólo llegan a la mitad de la anchura de la vela, no sólo sirven para mantener la forma aerodinámica de la vela en todos los rumbos y en todas las condiciones de viento, sino que también permiten aumentar la superficie vélica al 110% gracias a la optimización de la baluma.

#### **4.2.2.3 APAREJO BERGSTROM & RIDDER (B & R)**

El ángulo de las crucetas es de 30°, considerablemente mayor que el de un aparejo convencional, este ángulo mayor permite a los obenques altos aportar el soporte longitudinal necesario, por lo que generalmente no se monta *backstay* ni burdas. Se utilizan obenques diagonales invertidos para inducir una compresión de flexión previa que añade rigidez a la sección del mástil, por lo que tampoco es necesario un *stay* intermedio.



**Figura 4-12 Aparejo Bergstrom & Ridder  
Selden Mast**

#### **4.2.2.4 AUTOBENCADO**

Se trata de un aparejo complejo. Se puede encontrar en palos rígidos y en palos flexibles. Se pueden orientar y su rigidez se consigue mediante cables fijados al propio palo. Los mástiles ala, cuya superficie representa una parte del velamen, son forzosamente orientables y autoobencados.

#### **4.2.2.5 SIN OBENCLADURA**

En este tipo de aparejos el palo está fijado simplemente en el casco y se dice que está sujetado como una caña de pescar. Es el aparejo que usan algunos barcos de vela ligera.

### **4.3 DESCRIPCIÓN DE UNA VELA**

Se denomina vela a la pieza o conjunto de piezas de tejido de fibras naturales o artificiales que, sujeta a un palo, sirve para recibir el viento y proporcionar la fuerza de propulsión a una embarcación.

No fue hasta a partir de mitad de siglo XX, con la aparición de telas de Dacron, con muy poca deformación o estiramiento que los fabricantes empiezan a medir las formas de las velas. Desde entonces ha habido una gran evolución en sus formas. A día de hoy las características de la forma de la vela también sirven para perfiles de quillas o timones que en la alta competición reciben tanta atención como las velas.

Actualmente, para describir una vela hay que tener en cuenta varios aspectos:

1. Medir su relación de aspecto
2. Describir la forma de la vela midiendo la relación entre la profundidad y la cuerda.
3. Localizar la posición de máxima profundidad.
4. Medir el ángulo del borde de ataque.
5. Definir la distribución vertical de la forma.

La relación de aspecto es la división de la altura por la anchura. Cuanto mayor es la relación, más angosta es la vela. La evolución en el diseño de veleros ha llevado al aumento de esta relación, ya que le da una mejor *performance* para navegar en contra del viento. Antiguamente, esta tendencia estaba limitada por la tecnología de los mástiles y actualmente, se ha visto frenada por el exceso de la misma, ya que empezaba a tener una incidencia negativa en la eficiencia del barco.

En la relación entre la profundidad y la cuerda, se entiende por cuerda la distancia del grátil a la baluma. Una vela más profunda, genera mayores fuerzas de sustentación y resistencia que una vela de sección más plana. Una vela extremadamente profunda, produce una gran sustentación, pero su propia curvatura aumenta la resistencia, por lo que la relación entre ambas empeora. Dado un plano vélico y una condición de navegación, existe una profundidad que provee una relación sustentación-resistencia óptima.

La posición de máxima profundidad se expresa como porcentaje de la distancia del grátil a la baluma sobre la cuerda.

Las formas con la máxima profundidad atrás son más eficientes, y en contrapartida, más críticas, su margen es pequeño. Este tipo de formas se utilizan cuando las condiciones de navegación son ideales, vientos medios y mar bastante plano.

Las formas con la máxima profundidad adelante, tienen un mayor margen de error, por lo que trabajan mejor con mar de fondo. Pero son menos eficientes.

El ángulo del borde de ataque es el ángulo entre la tangente a la curva en el grátil y la cuerda. Su función es medir la redondez del grátil. A mayor ángulo, mayor redondez. Por tanto, si el ángulo de ataque es pequeño, la vela tiene una entrada suave. Este ángulo determina hasta qué punto se puede apuntar sin que la vela empiece a flamear. Un ángulo grande limita la capacidad de apuntar, en cambio un ángulo pequeño, la aumenta, aunque también aumenta el riesgo de obtener una forma muy crítica y estrechar el margen de la canaleta.

La distribución vertical de la forma cambia a lo largo de la vela, así como también, la profundidad y la posición de máxima profundidad a lo largo del grátil. Secciones profundas en el tope y más planas en la base son indicaciones de una buena vela.

Una vela eficiente es más profunda en el tope que en el pie. Siempre que las condiciones lo permitan, se debe respetar la distribución vertical de la profundidad. Sin embargo, en vientos fuertes, la fuerza escorante que resulta de las secciones profundas es una desventaja, por lo que se debe aplanar para mantener el barco adrizado.

Se entiende por *twist* el ángulo formado por la cuerda de cada sección respecto a la línea de la base de la vela.

Teniendo en cuenta que el *twist* se requiere para mantener el mismo ángulo de la vela desde el pie hasta el tope respecto el viento aparente, y que el viento aparente cambia con la altura, sopla más fuerte sobre el tope que a nivel de cubierta, se produce un efecto que recibe el nombre de cortante de viento. Bajo estas condiciones se producen dos efectos: por un lado, una mayor intensidad del viento en el tope del aparejo, que conlleva a una disminución de la sustentación, debido al aumento del ángulo del viento aparente. Estos efectos pueden ser corregidos dándole *twist* a las velas.

## **4.4 VELA MAYOR**

Es la vela principal de cualquier embarcación. Va relingada al palo por el grátil y unida a la botavara por el pujamen.

### **4.4.1 FUNCIONES**

Como funciones de la vela mayor destacan:

- Propulsar el velero: es la encargada de dar potencia a la embarcación.
- Equilibrar la escora.
- Equilibrar el rumbo. Actúa como un timón aéreo. Por ejemplo, navegando a un largo, al cazar la mayor el barco tenderá a orzar. Los patines o los windsurfs son ejemplos más claros de que la vela mayor puede desempeñar la función de timón.



Figura 4-13 Fotografía de una vela mayor

Es importante conocer los efectos que el aparejo produce en las velas, en este caso, la mayor va muy condicionada por el palo. Para el trimado de las velas es importante conocer los distintos aparejos que influyen en cada una, de qué manera lo hacen y cómo podemos variar su posición.

#### **4.4.2 MÉTODOS DE TRIMADO**

Para el trimado de la vela mayor se dispone de la escota, el carro, el pajarín, el *cunningham*, la contra, la driza, el *backstay*, la flexión del palo y los sables.

La driza debe tener una tensión adecuada tal que la vela no presente arrugas en el grátil, pero tampoco debe tensarse excesivamente formando un pliegue paralelo al grátil. Las arrugas irrumpen el flujo del viento, y el hecho que la driza esté floja, en muchas ocasiones por causa de una driza cedida, la mayor embolsa más y la baluma se cierra. El barco se vuelve más ardiente y se pierde ángulo de ceñida. En el caso de tensión excesiva el embolsamiento se sitúa demasiado a proa y la zona posterior resulta excesivamente plana. En función del material del cabo de la driza varían sus características. Los cabos de Kevlar, Dyneema o Spectra se aflojan aproximadamente una quinta parte que un cabo convencional, aunque más que un cable. Cuando se trata de embarcaciones de crucero o crucero regata, teniendo en cuenta el elevado precio de los cabos de Kevlar, difícilmente pueden competir con los cables de acero, aunque el peso de estos sea mayor. Al elegir el material para una driza hay que tener en cuenta lo que se pretende hacer con la embarcación y que calidad conviene según el estado

de las velas. Para una navegación confortable, sin especial deseo de correr, basta con elegir el más económico.

Un garrucho en el puño de driza de la mayor reduce la tracción horizontal en el extremo del grátil. De este modo existe menos tensión en el puño de driza de la vela y en la gaza del cabo.



**Figura 4-14 Garrucho del puño de driza de la vela mayor**

La contra de la botavara es de los elementos de trimado más importantes. Normalmente está formada por un conjunto de poleas fijas y móviles. Las fijas son aquellas que cuando se utilizan se mantienen en su lugar y no se aumenta la fuerza aplicada, sólo desvía su dirección. Las móviles cambian de posición al usarse y es posible influir sobre el valor de la fuerza. Existen otras variantes como las tubulares.



**Figura 4-15 Contra de la botavara**

La contra tiene tres funciones destacadas. Impide que la botavara se levante cuando se navega con vientos portantes y de popa. Así evita una excesiva torsión de la vela y se cierra la baluma. Controla la torsión de la baluma al ceñir. Si la contra se caza excesivamente la baluma queda

demasiado cerrada y el flujo de viento que sale de la vela lo hace de modo irregular, interrumpida por la baluma, creando turbulencias. Si la trapa se caza demasiado poco, la parte superior de la baluma empezará a flamear antes, con la consiguiente pérdida de fuerza de propulsión. Influye en la curvatura de la parte inferior del palo. La zona inferior de la mayor se aplanará.

A partir de cierto viento, el tensado de la driza exige mucha fuerza. Para tensar el grátil con el menor esfuerzo se utiliza el ollao de *cunningham* que está situado unos centímetros por encima del puño de amura, a través del cual se tira de la vela hacia abajo. Aparte de servir para aplanar la zona de proa de una vela mayor y desplazar su embolsamiento hacia proa, el tensor del grátil también se utiliza para abrir la baluma. De esta forma, cuando aumenta el viento puede reducirse el comportamiento ardiente de la embarcación.

Un aumento en la tensión del pajarín produce un aumento en la distancia entre el grátil y la baluma, dicho de otra forma, se aplanará la vela. Amollándolo al máximo se obtiene el máximo embolsamiento. La tensión del pajarín influye principalmente en el tercio inferior de la vela.

La escota se ocupa de evitar que el viento forme turbulencias a la salida de la vela, que ejercerían resistencia. Mientras la forma de la embarcación lo permita, se puede cazar la escota de la mayor y cerrarse la baluma. De esta forma la mayor proporciona la máxima fuerza de propulsión. Si aumenta la fuerza del viento, la baluma cerrada incrementa la escora, y un exceso de escora actúa como freno. Cuando se sobrepasa el límite de escora, hay que abrir la baluma para reducir la presión del viento en la parte superior y posterior de la mayor. Para ello, debe amollarse la escota, desplazar el carro a sotavento o aumentar la curvatura del palo. Una baluma abierta deja paso al viento hacia popa y reduce la escora y la embarcación navega mejor, ya que si la presión en la baluma es excesiva el barco se vuelve más ardiente. Por tanto se debe ajustar la baluma de la mayor de acuerdo con el flujo de viento. Como regla general con poco viento y mar llana, se requiere muy poca torsión, se puede cazar mucho la escota. Con poco viento y mar agitada es necesario abrir más la baluma amollando la escota. Para saber si la baluma está bien ajustada es de mucha utilidad el uso de catavientos en la misma.

Se habla de baluma abierta cuando el flujo de aire puede fluir por sotavento sin impedimentos, desprendiéndose de la vela sin originar remolinos. En el caso de la baluma cerrada, el flujo de aire de sotavento no llega a la baluma, sino que se desprende antes y este vacío es rellenado por el aire de barlovento. Los catavientos indican con precisión el comportamiento aerodinámico, el modo en que fluye el viento. Este tipo de indicadores también se utilizan en túneles de viento para realizar pruebas de comportamiento. Descubren las turbulencias producidas por un incorrecto ajuste de la baluma. En la baluma se fijan tres catavientos en la mitad superior. Si el ángulo de incidencia del viento y la torsión de la mayor son correctos respecto a la dirección del viento, el flujo de aire sobre la vela no resulta perturbado, ni se producen turbulencias. Cuando se producen estas circunstancias, la baluma está debidamente abierta y los catavientos flamean horizontalmente hacia popa. Cuando está cerrada, los catavientos van hacia sotavento. En un barco trimado debidamente, con una baluma abierta, navega con un rumbo más estable y con una baluma cerrada es más ardiente, por lo que requiere constantes movimientos de la caña.

El balumero no interviene en el trimado, sino que únicamente sirve para reducir el flameo de la baluma entre los sables. Sin embargo, existe una excepción en la que puede utilizarse para ajustar el perfil del embolsamiento. Con vientos flojos a medios, al navegar empopados tras soltar un poco la contra se puede cazar el balumero, cerrando la baluma y la mayor adquiere un embolsamiento que le permite impulsar mejor.

Los sables deben ser ligeros, pero lo suficientemente resistentes para no romperse con vientos fuertes o cuando la vela flamea. Por otra parte, han de ser elásticos para poder adaptarse al perfil de la vela. Los sables superiores son los que presentan más dificultades. Deben tener la zona de proa elástica para que no aparezcan arrugas en la transición entre el borde delantero del sable y el tejido de la vela. Por otra parte, la zona posterior del sable ha de ser lo suficientemente rígida para poder resistir las elevadas cargas que ocasiona el flameo de la baluma. Una solución muy común es utilizar un sable superior forzado en los que la bolsa del sable termina en el grátil. Con este tipo de sable es posible ajustar el embolsamiento en la parte superior de la vela. Con vientos flojos se introduce muy forzado para obtener un gran embolsamiento.

El carro de la mayor está formado por un carril y el carro. A través de él se regula la torsión de la vela. Los cabos deben ser accesibles desde los dos costados de bañera.

En un aparejo a tope de palo, la flexión a popa de la parte superior del palo se consigue tensando el *backstay*, y en un aparejo fraccionado, tensando el *backstay* y las burdas. Cuando se cazan el *backstay* y las burdas, la fuerza de la tensión actúa hacia popa y hacia abajo y obliga a la sección superior del palo a inclinarse a popa. La parte central del palo se desplaza ligeramente hacia proa aumentando la distancia entre el grátil y la baluma de la vela y, en consecuencia, se aplanan los dos tercios superiores de la mayor. Sucede prácticamente lo mismo que al cazar el pajarín en el tercio inferior de la vela. Una vela mayor aplanada mediante flexión del palo en la parte superior, reduce la escora y la tendencia a orzar, especialmente en un rumbo de ceñida.

Con viento ligero y en rumbos de popa se descarga la tensión del *backstay* y de las burdas procurando que la forma del palo sea recta.

Una misma vela puede adaptar la forma de distintos perfiles en función de su trimado. Al modificarse el perfil, se desplaza el centro vélico, y cambia la dirección de actuación de la fuerza vélica. La fuerza vélica de la vela más embolsada está dirigida más a barlovento y la de la vela más plana hacia el través.

#### **4.5 VELAS DE PROA**

Las velas de proa van relingadas en el *stay* de proa por la parte del grátil. Disponen de dos escotas en el puño de escota para cada uno de los costados. Una a babor que se utiliza cuando el barco va amurado a estribor y otra a estribor que se utiliza cuando va amurado a babor.

Para navegar en todos los rumbos respecto al viento, así como también para navegar con distintas intensidades de viento, un barco requiere varias velas de proa. Cada vela está

diseñada con un tamaño, un corte, un material y un tratamiento determinados específico para su uso.

#### **4.5.1 GEOMÉTRICAS**

Se entienden como velas geométricas de proa: los génovas y los foques.

La diferencia entre un génova y un foque reside en la relación entre la distancia del puño de escota al grátil, marcada por la perpendicularidad del grátil que técnicamente se denomina LPG, y la distancia entre el *stay* de proa a la parte delantera del mástil. La relación entre ambas es la sobreposición de la vela.

Si la distancia entre el puño de escota y el grátil es mayor que la distancia entre la cara anterior del palo y el *stay* de proa se trata de un génova, y si por el contrario, es menor, entonces es un foque.

Un génova 150% tendría el LPG un 50% mayor que la longitud del triángulo de proa J. Los foques se definen también por la misma forma, con superposiciones de 110% o menores.

Esta diferencia es apreciable a simple vista cuando la vela está izada, sólo es necesario observar si la vela llega hasta más a popa del palo o no, es decir si la vela queda por delante o por detrás de las crucetas.



**Figura 4-16 Fotografía de un génova y un foque**

Hasta hace unos años, la mayoría de los génovas tenían un solapamiento máximo, de 150 %. Actualmente las mayores han aumentado su área y los génovas son más pequeños. Los veleros actuales salen de astillero con génovas de 135 o 140 %.

Las velas de proa no tienen mástil en proa, por lo que se reducen las turbulencias en comparación con la vela mayor y por tanto el flujo que reciben es más limpio. Navegan en una continua sustentación causada por la interferencia, *upwash*, del flujo de la mayor.

#### **4.5.2 FUNCIONES**

Gracias a las velas de proa geométricas se consigue un ángulo de ceñida mayor, se aumenta la velocidad de la embarcación, se aprovecha el espacio que hay a proa del mástil con superficie vélica. Si la interacción entre la vela de proa y la mayor es buena, ayuda a la sustentación de la mayor.

#### **4.5.3 MÉTODOS DE TRIMADO**

Existen diferentes posibilidades de trimado para estas velas. La principal y más conocida es la escota, puede modificar la posición de la vela respecto a la línea de crujía, influye en la forma de la misma, es decir, embolsamiento, posición de la bolsa y torsión o *twist*. Otros medios de trimado son la modificación del escotero, la tensión de la driza y la tensión del *stay*.

La driza del génova no sólo sirve para izar la vela de proa. También se emplea como medio de trimado para mejorar las prestaciones en navegación modificando la tensión del grátil. Si la velocidad del viento aumenta, se debe cazar para que a lo largo del grátil no se originen arrugas que podrían generar turbulencias. Si el viento de a bordo no es tan fuerte, debe reducirse la tensión del grátil para embolsar la vela. Las arrugas perpendiculares al grátil que van hacia el centro de la vela indican que la driza no está lo suficientemente cazada y el embolsamiento se encuentra demasiado a popa. Esta configuración sólo es adecuada con poco viento aparente. Si las arrugas se forman a lo largo del grátil, longitudinalmente, la driza está demasiado cazada, y la bolsa se ha desplazado más a proa. Las arrugas además reducen el avance.

Cambiando la tensión de la driza también se modifica el perfil de la vela, especialmente la posición de la bolsa. Cuando la driza está muy cazada, la bolsa se desplaza hacia delante hasta un 35% de distancia con respecto al grátil. Detrás del borde de ataque del viento se origina un área favorable de forma redondeada. Cuando el grátil presenta ligeras arrugas horizontales, el embolsamiento se encuentra a un 45% de distancia del grátil, con el área de mayor fuerza vélica y la vela se aplanará en la zona de la baluma.

La posición del escotero, es decir, del carro de escota del génova, determina la tensión de la baluma de la vela y la convexidad en el área del pujamen. Por norma general, la escota debe trabajar en dirección a la bisectriz del puño de escota, de forma que la baluma y el pujamen trabajen con la misma tensión. El sentido óptimo de tracción es la prolongación de la dirección de la escota hasta el grátil en un punto a mitad de altura entre el puño de amura y el de escota. Desplazando el carro del escotero a popa se aplanará el pujamen de la vela. Por el contrario, si se desplaza hacia delante, aumenta la convexidad. En el caso de un génova con solapamiento, cuyo pujamen casi toca los tensores de los obenques, a la altura de las crucetas, la vela debe mantenerse unos 15 cm alejada de las mismas. Si el pujamen permanece invariable pero la parte superior toca el extremo de las crucetas, el escotero está demasiado adelantado y por tanto debe desplazarse hacia popa para tensar la parte inferior, de esta

forma se aplana el pujamen y al mismo tiempo se abre la baluma. Si, por el contrario, el pujamen toca los tensores y el área superior de la vela se distancia mucho del extremo de las crucetas, hay que desplazar el carro hacia delante. De esta forma se tensa la baluma, el área superior se acerca al aparejo y la vela se curva a la altura del pujamen. Otra posibilidad para saber si el carro del escotero está bien colocado consiste en comprobar si la vela de proa flamea homogéneamente en un rumbo de ceñida al orzar ligeramente.



**Figura 4-17 Carro del génova**

Los catavientos son los mejores medios de trimado para determinar la posición del escotero. Si los catavientos superiores comienzan a flamear antes que los inferiores, el escotero está demasiado a popa. El área superior de la vela de proa únicamente debería recibir el viento por ambos lados unas décimas de segundo antes que el área inferior. En este caso, se adelanta el escotero para bajar el puño de escota, se aumenta la tensión del grátil y se corrige el ángulo de incidencia de la vela, proporciona más fuerza vélica gracias al aumento de la convexidad en el área del pujamen. Sin embargo, si los catavientos inferiores son los primeros que comienzan a flamear y la parte inferior de la vela es la primera en virar, hay que colocar el escotero más a popa. De esta forma se reduce la tensión en la baluma, se eleva el puño de escota, se genera más torsión, aplana el área del pujamen y reduce la fuerza vélica.

Con la tensión del *stay* de proa se cambia la forma del perfil de la vela de proa y se determina simultáneamente su convexidad detrás del grátil. Para que la vela de proa mantenga una forma óptima tal y como la ha diseñado el fabricante de velas, el *stay* siempre debe estar bien cazado.



Figura 4-18 Forma de dar tensión al *stay*

Cuanto menos cuelga el *stay* hacia sotavento, más se puede ceñir. Cuanto menos cede, menor es el embolsamiento y el perfil de la vela es más plano. Si el *stay* puede curvarse la vela experimenta un mayor embolsamiento y genera más fuerza vélica, por otro lado, la baluma se cierra lo que hace que el barco sea más ardiente. Este trimado es deseado en ventolinas y con viento medio. En los barcos con aparejo a tope de palo puede aumentarse la tensión del *stay* tensando el popel.

## 4.6 VELAS PARA VIENTOS PORTANTES

Durante años el trabajo de los investigadores ha consistido en entender el avance en ceñida, al ser un fenómeno el cual se explicaba con principios físicos no evidentes. En cambio, los rumbos portantes siempre han tenido una explicación que parecía evidente, y por esa razón nunca se ha mostrado demasiado interés en estudiarlos, aunque cabe destacar que en la mitad de los cruceros o regatas se utilizan rumbos distintos a la ceñida. Los rumbos abiertos no están bien definidos, existen algunas ambigüedades al respecto, sin embargo, hay que tener en cuenta que a  $80^\circ$  del viento, navegamos con penetración, mientras que a los  $140^\circ$ , las velas trabajan con empuje. Existen una multitud de velas de proa para vientos portantes entre las que destacan el *gennaker*, el *spinnaker* asimétrico y el *spinnaker* clásico o simétrico.

### 4.6.1 FUNCIONES

En general la función de las velas que se utilizan en vientos portantes es lograr un mayor empuje y así aumentar la velocidad del barco para este tipo de vientos ya que están diseñadas para utilizarse exclusivamente para un rango de vientos determinados.

### 4.6.2 GENNAKER

Como su nombre indica, se sitúa entre el génova y el *spinnaker*. Se puede describir como un super génova ligero con un LP al 180% (medida habitual de la máxima anchura de un *spinnaker*). No es una vela estudiada para ceñir, sino que se utiliza en rumbos más abiertos en

los que las velas pueden ir más embolsadas. Dando mayor curvatura a los perfiles y aumentando la superficie, hay un aumento de la potencia.



**Figura 4-19 Gennaker**

Respecto al génova, la superficie del *gennaker* es entre 1,2 y 1,4 veces mayor. Se maneja igual que un génova, con grátil libre, siendo más grande, más ligero y con tejido de *spinnaker*.

La forma de sus costados es más curva y por tanto, su forma en plano se aleja del triángulo para hacerse más ovalada, el ancho a media altura se sitúa entre el 60 y el 75 % del pujamen.

Lleva su puño de amura fijo en proa, en la cubierta y por delante del *stay* o en el extremo del botalón por lo que permite navegar sin tangón aunque también se puede atangonar. El grátil lleva un cabo de Kevlar o Spectra que trabaja bajo tensión.

Puede utilizarse en un rango de vientos aparentes bastante amplio, desde 40 a 150° aproximadamente, en función de las características determinadas de cada uno. Proporciona más velocidad en ceñidas abiertas con poco viento y en largos con vientos flojos y medios.

#### **4.6.2.1 MÉTODOS DE TRIMADO**

La vela se iza con la driza de *spinnaker*, y se utiliza con doble escota que pasa entre el *stay* y el palo, lo cual permite maniobrarla en los bordos por proa y trasluchadas como un génova normal. Pero hay que tener especial cuidado en los bordos por proa con poco viento, ya que el material es delicado y se puede rasgar fácilmente rozando contra las crucetas o el palo.

Si el tamaño de la vela es considerable, se puede facilitar la maniobra de izado y arriado utilizando un enrollador almacenador o incluso un calcetín de *spinnaker*.

Finalmente, para los que disponen de un tangón y quieren utilizarlo es perfectamente posible atangonar el *gennaker* por el puño de escota para navegar en popa a orejas de burro.

Para la determinación del tipo de vela, en este caso Gennaker o Código 0, 1 o 2, como se les llama a este tipo de velas, es de gran utilidad un esquema (ver Figura 4-20) en el que se

determina el tipo de vela más idóneo en función del ángulo de viento aparente o AWA y la velocidad del viento verdadero o TWS.

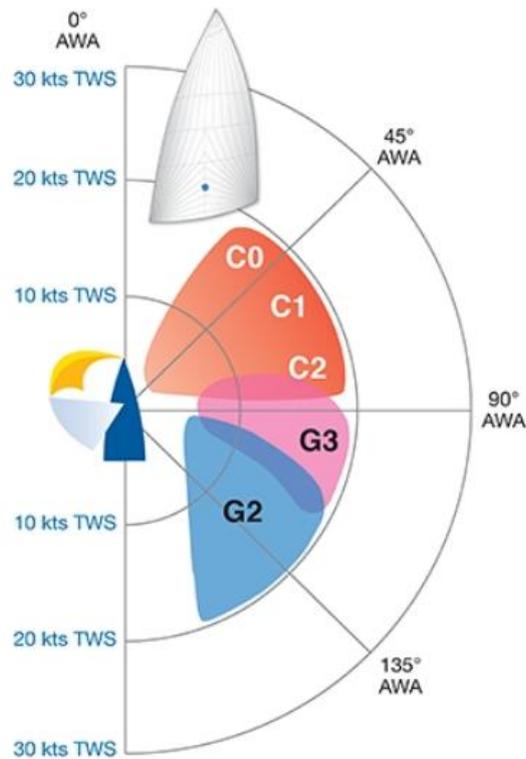


Figura 4-20 Esquema del tipo de Gennaker para distintos vientos en función de AWA y TWS  
North Sails

#### 4.6.3 ASIMÉTRICO

En los rumbos portantes el barco acostumbra a navegar con la vela mayor y una vela ligera. La presencia de la vela mayor impide la simetría de flujo para la vela ligera, incluso en popa cerrada, y como consecuencia, el rendimiento siempre es mayor en el lado opuesto a la mayor, el del tangón. Considerando únicamente la eficacia aerodinámica es interesante utilizar velas asimétricas. Para la elección del asimétrico para cada situación habrá que tener en cuenta algunos parámetros como son la velocidad de carena y la estabilidad de la embarcación, su plano vélico, y la intensidad y la fuerza del viento según el rumbo escogido.

El *spinnaker* asimétrico de crucero es un *spinnaker* estudiado para ser utilizado sin tangón. Es una vela para vientos portantes que es complementaria al *gennaker*. Hay tres diferencias básicas entre un asimétrico y un *gennaker*. El tamaño del asimétrico es superior. Su grátil no trabaja bajo tensión, sino que es "flotante" como el de los *spinnakers* clásicos. Toda su maniobra de driza, escota y braza es exterior al *stay*.

La diferencia más característica del asimétrico con relación al *spinnaker* clásico es que no lleva tangón. Se presenta como una ventaja para el crucerista aunque tiene su contrapartida en las popas redondas para las cuales no se adapta tan bien, en cambio, es capaz de remontar muy bien el viento hasta los 70° del viento aparente.



Figura 4-21 *Spinnaker* asimétrico

#### 4.6.3.1 MÉTODOS DE TRIMADO

La braza del asimétrico, se arraiga lo más a proa posible, y sobre todo por proa del *stay*. Normalmente está reenviada a bañera pero también puede ir fija de tal forma que el puño de amura de la vela quede ligeramente por encima del balcón. La escota puede ser doble o sencilla pero si es doble, tiene que pasar por proa de todo, incluso de la propia braza del asimétrico. Si es sencilla, durante la trasluchada, hay que despasarla de la amura vieja y pasarla a la amura nueva acompañándola por la proa de todo. Esta última maniobra puede parecer más compleja que la de doble escota, pero tiene la ventaja de que la escota es mucho más corta y se reduce el riesgo de que ésta vaya al agua.

Con poco viento, se puede atangonar el asimétrico. Pero no de la misma forma que el *gennaker*, con orejas de burro, ya que a causa de su anchura a media altura es demasiado inestable. Se debe atangonar como un *spinnaker* clásico pasando una braza nueva a popa. Antes de trasluchar, se desmonta el tangón y se vuelve a pasar la braza a proa para trasluchar normalmente con el asimétrico.

Para facilitar al máximo la maniobra es conveniente la utilización de un calcetín de *spinnaker*.

La elección del *spinnaker* asimétrico dependerá del viento, del ángulo de entrada y de la velocidad del viento. En función de ello se utiliza una vela de más o menos tamaño y de más o menos gramaje, así como con pequeñas variaciones en su forma. Esto sucede cuando se dispone de un número considerable de velas distintas para distintas condiciones de viento.

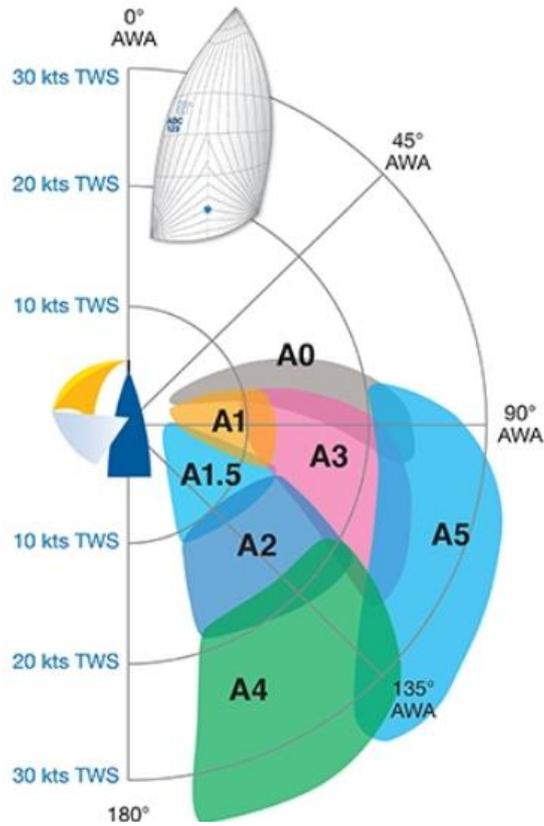


Figura 4-22 Esquema del tipo de *Spinnaker* asimétrico para distintos vientos en función de AWA y TWS North Sails

#### 4.6.4 SPINNAKER

El *spinnaker* es una vela con forma de globo de gran tamaño que se iza a proa en rumbos portantes para dar más velocidad al barco. Es una vela simétrica, que no tiene puño de amura; tiene un puño de driza arriba y dos puños de escota simétricos.



Figura 4-23 *Spinnaker* simétrico

El *spinnaker* trabaja siempre con la vela mayor, que ubicada hacia popa, modifica el flujo alrededor del *spinnaker*. A sotavento de la mayor se produce una estela turbulenta. Con un *spinnaker* amplio es inevitable que una parte de la superficie de la vela quede sumergida dentro de esa perturbación, el aire queda bloqueado entre las dos velas, produciendo sobrepresiones. Los remolinos que se escapan de la baluma de la vela mayor ensucian el flujo en el borde de sotavento del *spinnaker*, lado en el que se encuentra el puño de escota. En el costado de barlovento, el *spinnaker* recibe un flujo limpio, y es esta parte la que reequilibra el conjunto. Ahora bien, si el viento es suave, la superficie inactiva predomina sobre el conjunto. Para evitar la contaminación del flujo, más que buscar el despliegue detrás de la mayor, resulta más interesante llevar el puño de escota hacia la línea de crujía, de esta forma se estabiliza el *spinnaker* y su rendimiento es mayor. Las dos velas juntas resultan tener un rendimiento menor que la suma de sus acciones por separado.

La elección del *spinnaker* simétrico dependerá de las condiciones del viento: ángulo de entrada y velocidad del viento. En función del tipo de viento se utiliza una vela de más o menos tamaño y de más o menos gramaje y con algunas variaciones en su forma, como más o menos embolsamiento.

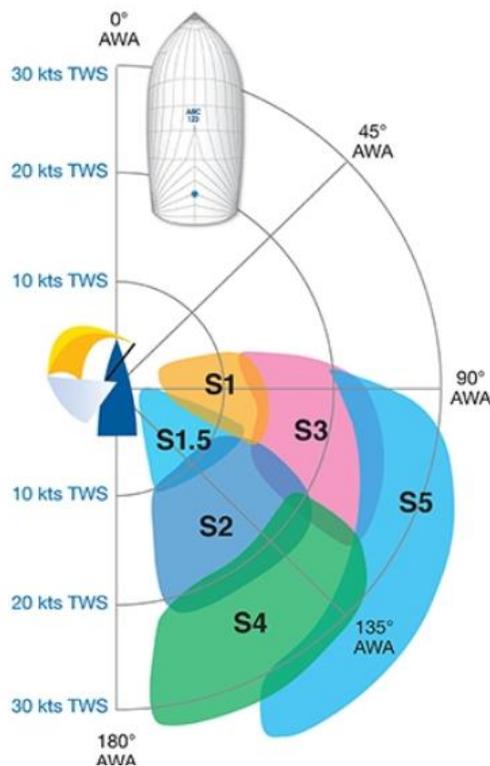


Figura 4-24 Esquema del tipo de *Spinnaker* asimétrico para distintos vientos en función de AWA y TWS  
North Sails

#### 4.6.4.1 MÉTODOS DE TRIMADO

Para el trimado del *spinnaker*, es necesaria una jarcia de labor distinta a la utilizada para las velas de proa como el génova. Todos estos elementos reciben el nombre de maniobra de *spinnaker*.

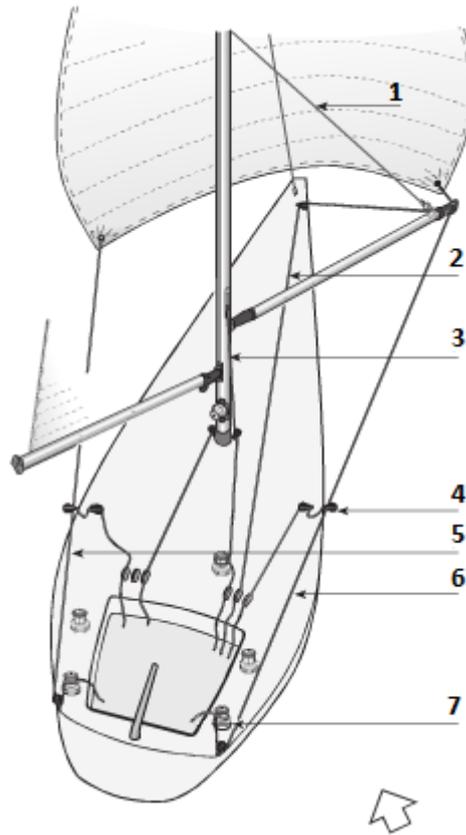


Figura 4-25 Elementos de la maniobra de *spinnaker* Selden Mast

El amantillo de tangón (1) se utiliza para izar el tangón y soportar su peso. Está sujeto al tangón normalmente por un grillete y con una polea al mástil, por la que es reenviado a la base del mástil y de ahí al piano. De esta forma el amantillo puede ser manipulado o bien desde el palo o desde el piano. Para mantener la posición horizontal del tangón además del amantillo, se utiliza la contra de tangón (2), que impide que el tangón se eleve demasiado. Estos dos elementos actúan en la parte de proa del tangón, que recibe el nombre de punta. La parte de popa del tangón o coz está sujeta a un carro vertical (3), que lo sujeta y regula su altura.

La escota del *spinnaker* (5) es el cabo que se utiliza para cazar el puño de escota, en el costado de sotavento. Pasa a los winches (7) a través de unas poleas colocadas en las aletas. La braza (6) es un cabo que se encarga de abrir y cerrar el tangón, trabaja en el costado de barlovento. La longitud necesaria para estas escotas es el doble de la eslora del barco. En función de la finalidad de navegación del barco y también de su tamaño, se utilizan dos tipos de maniobra: la simple y la doble. La simple está formada por dos escotas, la de babor y la de estribor. Cuando el barco está amurado a estribor. La escota de estribor trabaja a modo de escota y la de babor a modo de braza. Y al revés cuando el barco va amurado a babor. La maniobra doble cuenta con una braza y una escota en babor y una braza y una escota en estribor, y cada una se utiliza cuando el barco va amurado a la banda correspondiente. Este tipo de maniobra se utiliza en regatas y es necesaria más tripulación.



Figura 4-26 Barber

El *barber* (4) es un cabo con una polea, muy a menudo una pasteca, por la cual pasa la escota del *spinnaker*. Su posición se regula mediante una mordaza y permite regular la altura del puño de escota del *spinnaker*.

## **CAPÍTULO 5. MATERIALES**

El diseño, la construcción y los materiales de los mástiles, la jarcia y las velas han cambiado a lo largo del siglo XX. De los mástiles de madera contruidos a partir de un solo árbol a las secciones de fibra de carbono aerodinámicamente probadas, muy ligeras y fuertes.

Antes de estudiar los avances en la tecnología es necesario estudiar cuáles son los objetivos para el desarrollo de la tecnología que incluyen:

- Fiabilidad
- Ligereza
- Precio
- Manejabilidad
- Resistencia a daños al medio ambiente
- Eficiencia

El objetivo del diseñador y fabricante es encontrar un compromiso entre todos los objetivos anteriores con los materiales y la tecnología disponible. A través del desarrollo de nuevos materiales y la tecnología, la eficiencia y la fiabilidad del aparejo pueden aumentar.

### **5.1 JARCIA**

#### **5.1.3 PERCHAS**

##### **5.1.3.1 MÁSTIL**

Se utilizan tres tipos de materiales para la construcción de mástiles: madera, aluminio y carbono. La madera se utiliza de forma exclusiva para las embarcaciones de madera y el carbono se utiliza en el alto rendimiento, siendo, entonces, el material más común el aluminio.

##### **MADERA**

La madera fue el material más usado en mástiles al principio del siglo 20. Los dos tipos de madera más utilizados en los primeros mástiles fueron el roble y el pino.

Tiene algunos inconvenientes principales:

- No es un material ligero, especialmente en comparación con materiales compuestos modernos.
- Se logra mayor resistencia mediante el uso de un solo trozo de madera.
- Propenso a pudrirse si no se trata correctamente.



**Figura 5-1 Mástil de madera**

## ALUMINIO

Los mástiles de aluminio se empezaron a construir tras la Segunda Guerra Mundial. En la actualidad son los más usados para la mayoría de cruceros y para un gran número de clases. El aluminio tiene ventajas importantes sobre la madera, al ser más ligeros, resistentes e inmunes a la podredumbre. Además, un mástil de aluminio se puede construir de una sola pieza.

El tamaño del mástil que se debe construir determina en gran parte el procedimiento de fabricación empleado.

Para mástiles de vela ligera, simples o de cruceros pequeños de una sección estándar se hacen mediante la extrusión de aluminio a través de un molde. El mástil se corta a su longitud deseada y los accesorios se adjuntan. Ésta es la forma más barata de construir un mástil de aluminio, ya que no requiere el uso de maquinaria y moldes caros. Para mástiles de más alto rendimiento y más grandes se puede emplear un sistema similar aunque con variaciones. La forma resultante tiene una tapa cónica que permite que el mástil se pueda doblar más.

El último desarrollo en mástiles de aluminio es el uso de Alustartm, una aleación de aluminio desarrollado para la industria marina. Con un aumento del 20% en la resistencia, el espesor de la chapa utilizada se puede reducir, por lo tanto, se puede reducir el peso del mástil. Se mantiene la resistencia a la corrosión, la capacidad de curvatura y la capacidad de soldadura con otras aleaciones de aluminio. Estos mástiles se dice que son más fuertes y más ligeros que los mástiles de aluminio extruido.



**Figura 5-2 Mástil de aluminio**

## CARBONO

Los mástiles de carbono se empezaron a utilizar a principios de los 90. Mediante el uso de fibra de carbono un mástil puede ser fabricado de forma que sea más ligero y más rígido que un mástil de aluminio, lo que puede mejorar significativamente el rendimiento del aparejo. Hay dos principales métodos de fabricación empleados en la construcción de un mástil de carbono. El primero es el uso de un molde de sección estándar para producir una sección uniforme en toda la longitud del mástil. Este es el tipo más económico de mástil de carbono ya que los moldes utilizados para fabricar la sección estándar se puede utilizar más de una vez.

También pueden construirse a medida para un yate particular. Este tipo de mástil, evidentemente es más caro ya que hay que construir el molde según las especificaciones del mástil, y por lo general, este molde sólo puede utilizarse una vez.

El principal problema del carbono es el coste adicional de los materiales, además del aumento en cuanto a mano de obra necesaria. Un mástil de carbono tendrá un coste aproximadamente 7 veces el de un mástil de aluminio.



Figura 5-3 Mástil de carbono

Con el uso de la tecnología informática moderna, como CFD (*Computational fluid dynamics*) y FEA (*Finite element analysis*) se pueden calcular las cargas precisas sobre el mástil. Por lo tanto un mástil de carbono se puede construir con una mayor resistencia en la dirección de las cargas principales.

Para una forma óptima de la vela, la curva del mástil es muy importante, ya que ayuda a aplanar la vela. Un mástil de carbono puede ser fabricado con orientación controlada con precisión de fibras para obtener las características de curvado correctas lo que significa un avance importante en la tecnología. Al complementarlo con las nuevas tecnologías de las velas forman una forma aerodinámica superior que no podría lograrse con un mástil de aluminio y las velas de poliéster.

El uso de CFD también puede determinar el flujo alrededor del mástil y en los programas más potentes la interacción de las velas y la jarcia firme también puede ser tenida en cuenta.

Desde la introducción de los mástiles de carbono se ha realizado poco trabajo en cuanto a la búsqueda de materiales alternativos. Sin embargo, existe un desarrollo continuo en el diseño de los mástiles para obtener el máximo rendimiento del material. Algunas novedades podrían proceder de la utilización de nuevos materiales de matriz y nuevas fibras. Fibras tales como PBO se podrían utilizar para aumentar las propiedades del mástil. Además las propiedades de cualquier material compuesto se pueden mejorar en gran medida mediante el uso de métodos de fabricación más avanzados, consiguiendo un laminado más fuerte y más ligero.

### **5.1.1.2 CRUCETAS, BOTAVARA Y TANGÓN**

Los materiales de los cuales están hechos las crucetas, la botavara o el tangón también son la madera, el aluminio y el carbono.

Las crucetas, en la mayoría de los casos, coinciden con el material del mástil al que pertenecen.

Con la botavara y el tangón suele suceder lo mismo, aunque puede ocurrir que un mástil de aluminio lleve una botavara y un tangón de carbono, en un barco de semicompetición.

### **5.1.2 JARCIA FIRME**

En cuanto a la jarcia firme se utilizan tres tipos de disposiciones:

- Jarcia de cable o filamento trenzado de alambre de acero inoxidable con variedad de configuraciones. Es resistente a la corrosión, fuerte, flexible y económico. Sus desventajas son que es relativamente pesado para su resistencia y se estira en cierta medida. Tiene variedad de aplicaciones y soluciones terminales diferentes. Se recomienda cambiarla cada 12-15 años, teniendo en cuenta un trato y mantenimiento correctos.



**Figura 5-4 Jarcia de filamento trenzado**

- Jarcia de varilla. Este tipo de jarcia se empezó a utilizar cuando se buscaba un aparejo más rígido que el filamento trenzado, para aumentar el rendimiento y cada vez se usa más. Actualmente es utilizado por grandes yates de crucero y por la mayoría de barcos medianos de regata de alto rendimiento. Se utilizan diferentes materiales, aunque el más común es Nitronic 50TM, un acero inoxidable marino de alto grado. Otros son cobalto, carbono y Kevlar. Su expectativa de vida depende de diferentes variables: el tiempo y las millas navegadas; la carga que soporta la varilla; las condiciones de navegación predominantes; las condiciones ambientales y el cuidado y mantenimiento que ha recibido. Es recomendable revisarla cada 4 años y cambiarla cada 8 años.

- Jarcia textil. En los veleros de competición muchos elementos de su jarcia son sustituidos por materiales muy nuevos como el Dyneema, el Kevlar, el Vectran o de PBO. Los obenques y *stays* en textil sustituyen al acero inoxidable. A igualdad de resistencia, el textil es más ligero y se ajusta e instala de forma más cómoda y rápida. Las fibras textiles deben trabajar sin rozamientos externos ya que se pueden cortar si están siendo rozadas por algo duro. Por tanto si desea unir dos piezas mediante una unión en textil, hay que evitar ángulos muy agudos que acabarían cortando las fibras. Otro inconveniente que presenta el textil es el volumen que ocupa a igualdad de resistencia. Casi todas las poleas están pensadas para ser utilizadas por un mosquetón o grillete en acero, y si hay que soportarla mediante cabo textil habrá que utilizar un diámetro inapropiado o dar varias vueltas lo que puede hacer peligrar el libre giro de la polea. Hay poleas pensadas para el uso con textil pero entonces, al alto precio de estas exóticas fibras debemos añadir el alto precio de las nuevas y sofisticadas poleas. La diferencia principal respecto a la jarcia de varilla y cable, es la susceptibilidad a las condiciones medioambientales, por ello se recomienda una revisión de la jarcia textil cada 2 años.



**Figura 5-5 Jarcia textil**

Al elegir el tipo de jarcia firme la resistencia a la rotura es la primera consideración que se tiene en cuenta. Es la carga máxima que el alambre, varilla o textil puede aguantar sin romperse. Generalmente la varilla es aproximadamente 20% más fuerte que el alambre del mismo diámetro. El textil dependerá de la fibra utilizada.

La fatiga es también una consideración importante. El alambre es más sensible a la fatiga debido a que los filamentos individuales rozan entre sí. La varilla sin embargo se ve afectada por los daños en la superficie, lo que puede llevar a grietas de fatiga. Cuando el alambre falla por fatiga los filamentos fallan uno por uno y por lo tanto es más fácil de detectar y remediar. La varilla, en cambio, falla sin previo aviso y los signos de agrietamiento inicial son casi imposibles de detectar por inspección visual.

El alargamiento aumenta proporcionalmente a la carga y a la longitud, e inversamente a la zona de corte transversal y al módulo de elasticidad. Tiene un gran impacto en la eficiencia global del aparejo. Mientras la carga está dentro de 70% de la carga de rotura máxima no hay deformación plástica. Un alargamiento menor produce un aparejo más recto y rígido.

La resistencia al viento de los obenques y *stays* aumenta con el aumento de diámetro. La varilla y el textil para la misma resistencia que el alambre tiene un diámetro menor y también una superficie más lisa, por lo tanto produce menos resistencia.

En barcos muy regateros el uso del textil es más que adecuado, especialmente en la jarcia del palo, ya que al reducir el peso por encima del centro de gravedad mejor será la estabilidad y el adrizamiento del barco, además de conseguir rebajar el peso total del barco. En los barcos típicos de crucero, veleros o yates de motor, las cosas difieren. Pero en algunos puntos y elementos del barco es muy interesante utilizar el textil ya que se evitaban ruidos y desgastes aprovechando las características de estos avanzados materiales que poco a poco van a ir sustituyendo algunos elementos en los nuevos barcos.

### **5.1.3 JARCIA DE LABOR**

Los cabos de poliéster conocido como Tergal, Terylene, Tetaron o Dacron son los más utilizados para escotas y drizas, por ser poco elásticos y muy resistentes. En ocasiones, están preestirados, lo cual reduce aún más su capacidad de elasticidad. Esta característica es imprescindible para las drizas. También son resistentes a la radiación ultravioleta.

Las poliamidas conocidas más comúnmente como Nylon o Perlon, son muy resistentes y algo elásticos, por lo que son utilizadas como cabos de amarre o para fondeo. Además son muy manejables, resulta fácil trabajar con ellos, aunque sufren mucho con el roce.

Los cabos de polietileno también conocidos como polipropileno son muy económicos pero no poseen muy buenas propiedades. Se degradan rápidamente con los rayos ultravioletas del sol y son menos resistentes que los de Nylon o Dacron, y rompen de repente sin previo aviso. Los cabos de este material flotan.

Finalmente están los materiales más punteros. Su precio todavía es elevado, aunque con el tiempo está previsto que disminuya y acabarán por utilizarse de forma muy común. Se trata de Kevlar y Dyneema. Presentan un inconveniente, baja resistencia a los UV, aunque como ventaja presentan una alta tenacidad, por lo que son idóneos para las drizas, ya que la mayor parte de un cabo que se utiliza como driza se encuentra dentro del palo, donde están protegidos del UV que los puede degradar y son increíblemente tenaces. Tanto que algunos barcos los utilizan como jarcia firme, como ya se ha visto anteriormente. Son tejidos más rígidos y por tanto, delicados.

## **5.2 VELAS**

Las velas se fabrican con materiales diversos que dependen, entre otros, de la utilización de la vela. Se utiliza un tipo de materiales para velas que navegaran con vientos ligeros, para que no pesen demasiado y otros tipos para velas que resistan cuando sube el viento. También se utilizan materiales distintos en función del método de fabricación de la vela y del tipo de vela, si es una mayor, un *génova* o un *spinnaker*.

El origen de los materiales utilizados para la confección de velas sigue sin ser conocido. A lo largo de la historia se han utilizado muchos materiales, desde pieles de animales, en los inicios

de la navegación a vela, pasando por el uso de esteras trenzadas de juncos utilizados en la antigua China o las grandes velas del Nilo en el antiguo Egipto, hechas de papiro. Más tarde, estos materiales fueron cambiados por el algodón y el lino hasta la aparición de los más sofisticados laminados plásticos.

Las primeras velas tenían un bajo rendimiento debido a la deformación de los propios tejidos, de tal manera que para poder ser utilizadas con garantías de durabilidad, los tejidos eran sobredimensionados con altos gramajes, eran más resistentes y por contra, más pesadas. Hay que añadir, a los motivos del bajo rendimiento, la alta absorción de humedad, como consecuencia de la utilización de fibras naturales, que producía una aceleración del desgaste al estar en contacto con el agua del mar.

En los años 50, aparecen los materiales sintéticos que no se pudren y que tienen una mayor resistencia, la poliamida y el poliéster. Esta aparición marca el comienzo de una evolución en cuanto a la fabricación de las velas.

A partir de ese momento, se diversifican tanto las fibras y los tejidos así como también los tratamientos de acabado. Gracias a las regatas de alta competición, en las que hay muchos intereses y dinero invertido, a las nuevas tecnologías industriales, tanto para la obtención de nuevas fibras textiles como para el procesamiento de datos, y a los nuevos conocimientos de aerodinámica y hidrodinámica, la búsqueda de nuevos tejidos para confeccionar las velas llevó a los fabricantes a buscar nuevos materiales altamente resistentes, ligeros e indeformables.

En las velas actuales hay que tener en cuenta las exigencias de resistencia a la tracción, tanto del tejido como de las costuras o puntos de unión. Se ha de analizar tanto su estructura en las distintas zonas de presión del viento, como su ligereza, estabilidad a la luz ultravioleta, o aptitud para la soldadura de nuevos materiales en sustitución de las costuras. Por lo que los materiales utilizados para la obtención de velas actuales deben cumplir unas especificaciones técnicas de calidad muy precisas, con la problemática de llegar a un coste razonable para su uso generalizado en el mercado y conseguir llegar a él.

La navegación a vela ha evolucionado debido a la elasticidad de los propios tejidos, por eso esta búsqueda de nuevos materiales más resistentes. Si lo que se necesita es un material muy rígido y estable, lo que se puede hacer es buscar otros materiales que no sean materiales textiles y usar materiales como el aluminio o las fibras con resinas, como llevan los aviones en sus alas. El problema es que las condiciones en que un barco navega, es decir, el ángulo de entrada del viento, la velocidad del mismo o el estado de la mar, no son iguales en todo momento, por lo que se necesitaría tener muchos diseños distintos que se deberían de cambiar cuando alguno de los factores de la navegación cambiara. Resulta inviable.

Otro problema que presentan los barcos es que hay un número elevado de pesos por encima de la línea de flotación. Cualquier peso, como puede ser el de la vela izada en el palo, a una determinada distancia, en este caso altura, crea un momento que contribuye a la escora del barco, en el sentido transversal, y al cabeceo, en sentido longitudinal. Estos momentos se acentúan cuanto más alto es el palo y cuanta más superficie velica tenga el barco. Todo ello influye en la disminución de la fuerza de propulsión y en el aumento del rozamiento hidrodinámico del barco, que en resumidas cuentas se traduce en una pérdida de la velocidad

y del rendimiento de las velas. Por tanto, interesa que las velas sean lo más ligeras posibles, que además, en ocasiones, puede conllevar a un precio más económico.

En las fibras sintéticas se ha producido un desarrollo importante en la búsqueda de un rendimiento mecánico y otras propiedades, mejorando las fibras existentes o elaborando nuevos polímeros sintéticos a base de materiales macromoleculares con propiedades específicas o de estructura orientada o partiendo de materiales inorgánicos. Reciben el nombre de fibras de alto rendimiento aquellas que pertenecen a una serie de familias de fibras que aportan un comportamiento mecánico muy superior al de las fibras convencionales.

En la actualidad se sigue avanzando gracias a las pruebas que se llevan a cabo en los túneles de viento, a la medición de los esfuerzos que se efectúan sobre las velas por medio de sensores in situ, y a los cálculos informatizados que se realizan gracias a los presupuestos dedicados a las regatas, como la Copa América o regatas open de multicascos.

### **5.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS REQUERIDAS**

Para que los materiales puedan ser considerados para la confección de las velas, una vez en forma de tejido o laminado, han de cumplir una serie de propiedades físicas. Se deberán tener en cuenta las siguientes propiedades de los materiales a elegir para confeccionar una vela.

- Módulo de elasticidad. Indica la velocidad a la que un tejido podrá ser deformado. Su valor debe ser alto. No tiene el mismo valor para todos los sentidos, teniendo su valor más bajo para el biés. Un buen tejido será aquel que tenga una buena resistencia en todas las direcciones.
- Fuerza de rotura. Esta fuerza está representada por la carga que al someterlo a tensión rompe el tejido.
- Límite elástico. Se representa por la carga bajo la cual el material vuelve a su longitud inicial. Al trabajar por encima de esta carga, el tejido queda deformado de forma permanente. Esta propiedad es especialmente importante, ya que es determinante para elegir el rango de vientos bajo el cual se puede utilizar este tejido, sin obtener deformaciones en la vela.
- Resistencia y deformación del tejido a la presión o estallido. Es especialmente importante para tejidos destinados a la obtención de velas portantes. Para medir la resistencia al estallido se utiliza un aparato específico para dicha función.
- Peso por metro cuadrado. Se buscan tejidos de pesos muy ligeros. Un tejido ligero tiene más facilidades en el momento de adoptar una forma deseada con vientos suaves. Además, hay que tener en cuenta que cualquier peso por encima de la línea de flotación crea un momento, que puede acentuar la escora del barco.
- Porosidad. Los pequeños poros que puede haber en un tejido permiten que el aire pueda atravesarlo igualando la distribución de presión de las dos caras, disminuyendo la sustentación y la velocidad del barco. La porosidad disminuye el rendimiento de la vela.
- Resistencia al desgarro. Todos los tejidos deben tener una mínima resistencia al desgarro y a la abrasión. Esta resistencia hace que al producirse un pequeño desgarro en el tejido no se rompa la vela.

- Resistencia a la costura.
- Resistencia a la reacción química.
- Absorción del agua. El agua atrae la suciedad, haciendo que la creación de hongos aumente. Otro problema es el aumento de peso del tejido que produce una ineficacia de la vela y un aumento del balanceo del barco en su movimiento de escora. El agua también produce un hinchamiento en las fibras celulósicas que produce una reordenación de los enlaces de las fibras y como resultado un encogimiento. Las fibras sintéticas o químicas no tienen este problema debido a las propiedades inherentes de las fibras.
- Suavidad. Una vela que sea muy suave en su superficie reduce la resistencia al rozamiento del aire, por lo que los tejidos deben ser lo más suaves posibles.

### **5.2.2 FIBRAS**

Las fibras son las principales encargadas de soportar y resistir las tensiones de la vela. A mayor resistencia a la deformación de la fibra, menor será la cantidad de fibra, y en consecuencia el peso, necesario para soportar una tensión determinada. Para la elaboración de materiales para velas, se utiliza gran cantidad de fibras distintas, cada una de ellas con sus propias características.

La aparición de nuevas familias de fibras textiles con nuevas prestaciones o con posibilidad de mejorar las que había, es uno de los factores que ha contribuido a configurar un sector textil destinado al deporte de la vela.

En función de su origen, las fibras pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- Fibras naturales, que son las fibras que se pueden encontrar tal y como están en la naturaleza.
- Fibras químicas, que se obtienen a través de los correspondientes procesos de transformación de polímeros en fibras.
  - Artificiales: creadas a partir de una materia primera natural que al someterse a tratamientos químicos la transforman para poder ser incluida en la hiladura. El hilado.
  - Sintéticas: no utilizan componentes naturales, son químicos.

Otra forma de clasificación de las fibras sería las fibras convencionales y las fibras de alto comportamiento o alto rendimiento mecánico. Este último grupo es el que resulta más interesante para la obtención de las velas, ya que por sus características hacen que el tejido final sea mucho más resistente.

Las fibras convencionales que encontraron aplicación en el sector náutico de la vela se encuentran algunas fibras naturales como el algodón, el lino, el jute y la lana. Entre las artificiales están el poliéster, la poliamida y las acrílicas, y por último, de las sintéticas destacan las poliolefinas.

Como fibras de alto rendimiento mecánico se entienden aquellas que presentan un rendimiento muy superior al de las fibras convencionales, sobre todo por lo que se refiere a sollicitaciones a tracción.

Concretando, las fibras químicas son aquellas fabricadas a partir de sustancias poliméricas naturales, transformadas por la acción de agentes químicos, fibras artificiales, o de sustancias poliméricas obtenidas por síntesis química, fibras sintéticas.

Entre las distintas formas con las que podemos encontrar las fibras químicas destacan:

- Fibra: unidad de materia caracterizada por su flexibilidad, finura y gran longitud en relación a su grueso.
- Filamento: fibra de longitud indefinida considerada como continua.
- Multifilamento: hilo compuesto por varios filamentos.
- Monofilamento: hilo constituido por un solo filamento.
- Hilo: conjunto de gran longitud de fibras textiles de filamento, hilo continuo, o de fibras discontinuas (hilado).

### 5.2.2.1 PRINCIPALES FIBRAS UTILIZADAS

#### 5.2.2.1.1 POLIÉSTER

El poliéster es una estructura química de la cual se extrae, después de fundirlo, un filamento único que da nombre al material. A partir de esta materia prima, los talleres de hilado fabrican un hilo que utilizan después para tejer la tela. Este hilo recibe un nombre diferente según su fabricante. Con el poliéster se fabrican tejidos de 80 a 450 gramos por metro cuadrado. Se trata de la fibra menos elástica y está indicada para toda clase de velas, exceptuando el *spinnaker* y las demás velas de su clase. Para este tipo de velas, hace falta reducir el gramaje utilizando tejido de poliéster de 30 gramos por metro cuadrado, por lo que este tipo de fabricación está destinada solamente a la alta competición.



**Figura 5-6 Distintos tipos de fibras de poliéster  
Nauticexpo**

a) DACRON

Nombre comercial dado por DuPont<sup>3</sup> a la fibra de poliéster. Es la fibra ideal para los materiales tejidos destinados a velas de crucero por su longevidad, su alta resistencia y su bajo coste. Su inconveniente es su elasticidad comparada con otras fibras de alto módulo. En algunas clases de monotipos el reglamento sólo permite la utilización de fibra de poliéster para controlar el coste. Se utiliza en tejidos y laminados para crucero y clases monotipo. Además, es la fibra que se utiliza en los laminados que reciben el nombre de Mylar.

b) MYLAR

El Mylar es una lámina de poliéster muy fina, de algunas micras de grosor. Recibe distintos nombres según el fabricante. Es un material isótropo, por lo que a veces se utiliza combinado con materiales que no lo son para aportar la estabilidad multidireccional que les falta. Esta combinación recibe el nombre de "complexase".

c) PENTEX

Es otro tipo de fibra de poliéster, una evolución que multiplica por 2,5 las prestaciones a la deformación bajo tensión del Dacron, pero en contrapartida su coste es más elevado. Al ser un poliéster, el Pentex es una fibra permitida por los reglamentos que sólo permiten este material. No puede ser tejida con tanta fuerza por lo que es impregnada con resina o adecuada para la fabricación de tejido laminado, donde las fibras se colocan directamente orientadas para la fuerza y se unen a láminas de película para lograr mayor estabilidad. Se utiliza en tejidos y laminados para clases monotipos.

d) VECTRAN

Polímero de cristales líquidos LCP registrado por Hoechst Celanese<sup>4</sup>. Esta fibra multiplica por cinco las prestaciones del poliéster. Se suele utilizar en los laminados como fibra transversal por su buena resistencia a la flexión, y por tanto al flameo. Como inconveniente presenta alta sensibilidad a los rayos ultravioletas. Se utiliza en tejidos y laminados para grandes yates.

#### 5.2.2.1.2 POLIAMIDA

La poliamida es una fibra elástica y está indicada para velas ligeras de los rumbos portantes. Hay toda una gama de tejidos con pesos entre 30 y 120 gramos por metro cuadrado.

---

<sup>3</sup> DuPont es una empresa multinacional de origen estadounidense, dedicada fundamentalmente a varias ramas industriales de la química.

<sup>4</sup> Hoechst Celanese es un proveedor de fibras de alta tecnología.

a) NYLON

Nombre comercial de la fibra de polipropileno. A mismo peso de fibra, posee más resistencia a la rotura, mayor tenacidad, que las fibras de poliéster, y más flexibilidad. Estas dos características hacen que sea una fibra adecuada para tejidos de velas portantes al absorber muy bien los fuertes golpes que deben soportar al hincharse, además de poderse fabricar muy fina y en consecuencia obtener tejidos muy ligeros. No se ve afectada por los pliegues.



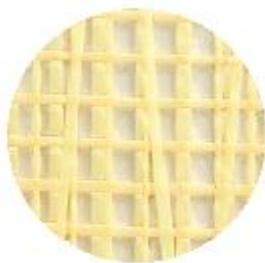
**Figura 5-7 Nylon  
Nauticexpo**

5.2.2.1.3 ARAMIDA

La aramida es una fibra muy resistente, muy poco elástica y muy ligera. Su mayor inconveniente es el perder sus cualidades por efecto del sol (UV). Su vida está reducida a una temporada, por lo que este tipo de material está indicado para las regatas, ya que además su precio no es bajo. Existen tejidos que contienen de 110 a 350 gramos por metro cuadrado. Evitar el flameo y un manejo cuidadoso pueden ampliar en gran medida la vida de una vela de aramida.

a) KEVLAR

Nombre comercial de la aramida registrado por Dupont. Es nueve veces mejor que el poliéster. Es una fibra con muy buena relación prestaciones/precio aunque soporta mal los rayos ultravioletas y la flexión. Destacan dos tipos: Kevlar 29 y Kevlar 49, este último tiene un módulo inicial de 50% más alto que el tipo 29, pero una pérdida de la flexión inferior. En general al aumentar el módulo, la resistencia a la flexión disminuye. Recientemente se ha introducido el Kevlar Edge, una fibra desarrollada específicamente para las velas con un 25% más de resistencia a la flexión y un módulo superior que el del Kevlar 49. Se utiliza en laminados para velas dedicadas a la competición.



**Figura 5-8 Kevlar Nauticexpo**

b) TECHNORA

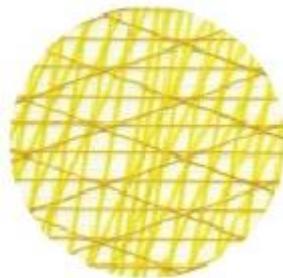
Nombre comercial de la aramida registrado por el Grupo Teijin<sup>5</sup>, multiplica por 5,5 veces las prestaciones del poliéster. Es una fibra oscura que se suele utilizar para los hilos orientados diagonalmente o transversalmente en los tejidos o laminados. Soporta mejor los rayos ultravioletas y la flexión, aunque se degrada más rápidamente que el Kevlar. Se utiliza en laminados para velas de regata.



**Figura 5-9 Technora  
Nauticexpo**

c) **TWARON**

Nombre comercial de la aramida registrado por el Grupo Teijin. Ofrece unas prestaciones nueve o diez veces mejores que las del poliéster. Es una fibra con características muy similares a las del Kevlar. Twaron HM (alto módulo) tiene propiedades de estiramiento similares a Kevlar 49, una mayor resistencia a la tracción y una mejor resistencia a los rayos UV. Twaron SM es similar al Kevlar 29. Este tipo de fibras se utilizan en laminados para velas de competición.



**Figura 5-10 Twaron  
Nauticexpo**

#### 5.2.2.1.4 POLIETILENO

El polietileno, de módulo elevado, es una fibra con un rendimiento bastante parecido al de la aramida aunque presenta una tendencia a la deformación por presión, es decir, que se alarga al principio del esfuerzo, y más tarde adquiere una gran estabilidad dimensional. A diferencia de la aramida, el polietileno presenta una gran resistencia a los rayos ultravioletas y a las roturas que se podrían ocasionar por el plegado. Se trata de un producto nacido para la

---

<sup>5</sup> El Grupo Teijin tiene una filial, Teijin Aramid, dedicada exclusivamente a la aramida. Dispone de cuatro productos registrados, Twaron®, Sulfron®, Teijinconex® y Technora®, con aplicaciones varias que se utilizan en todo el mundo.

competición que encuentra aplicaciones en las velas de crucero, en las que tiene gran importancia la longevidad.

a) SPECTRA o DYNEEMA

Comercialmente recibe diferente nombre según el fabricante, Spectra de AlliedSignal<sup>6</sup> (USA) y Dyneema de DSM<sup>7</sup> (Holanda). Es un material con muy buena resistencia al estiramiento. Ofrece unas prestaciones doce veces mejores que el poliéster, a la rotura bajo tensión, a los rayos ultravioletas y a la flexión. Sin embargo, presenta un inconveniente para velas de competición, se estira cuando se le aplica una tensión continuada, aunque ésta esté lejos del punto de rotura y no recupera completamente su forma original. Lo que obliga a sobredimensionar el material para evitar deformaciones de la vela. Este tipo de fibras se suelen utilizar en tejidos y laminados para grandes yates y para velas de regatas oceánicas.



**Figura 5-11 Spectra o Dyneema  
Nauticexpo**

b) CECTRAN

Fibra de polietileno muy similar a la fibra de Spectra registrada por Hoechst Celanese que se presenta como una versión menor módulo de Spectra.

5.2.2.1.5 POLIBENZIMIDAZOL o PBO

El Polibenzimidazol es un polímero de cristal líquido desarrollado por Toyobo<sup>8</sup> bajo el nombre comercial Zylon. Es una fibra con un módulo inicial que es significativamente mayor que el de otras fibras de alto módulo, incluyendo las aramidas. Entre sus propiedades destacan una alta estabilidad térmica, baja deformación, alta resistencia química, alta resistencia a la abrasión, y una excelente resistencia al estiramiento después del flameo, y alta flexibilidad. Tiene un elevado coste y su resistencia a la fatiga y a los rayos ultravioletas es débil. Esta clase de fibra se suele utilizar en laminados para velas de alta competición.

---

<sup>6</sup> AlliedSignal era una compañía aeroespacial, de la automoción y la ingeniería estadounidense que posteriormente fue comprada por Honeywell, una empresa multinacional estadounidense que produce una variedad de productos comerciales y de consumo, servicios de ingeniería y sistemas aeroespaciales.

<sup>7</sup> DSM es una compañía científica global activa en materia de salud, nutrición y materiales.

<sup>8</sup> Toyobo Corporation es uno de los principales fabricantes de Japón de fibras y textiles, incluidas las sintéticas y las naturales.

#### 5.2.2.1.6 CARBONO

Esta fibra es muy ligera y posee una muy buena resistencia a la elongación, resistencia a los rayos ultravioletas y tenacidad. Tiene unas características muy buenas para su aplicación en los laminados. Según el tipo de carbono multiplica entre quince y veinte veces las propiedades del poliéster. Su inconveniente es su poca resistencia a la flexión, por lo que en los laminados no se utiliza esta fibra en forma de hilos, sino en forma de cintas de filamentos unidireccionales. Esta disposición de las fibras combinando la tenacidad y la resistencia a los UV está demostrando que los laminados a base de esta fibra, pueden durar tanto o más que los laminados a base de Kevlar u otras fibras de alto módulo. Por su extraordinaria resistencia se obtienen velas más ligeras y a un coste no muy superior a los otros laminados. La fibra de carbono se utiliza en laminados de alta competición.



**Figura 5-12 Carbono  
Nauticexpo**

#### 5.2.2.2 CARACTERÍSTICAS

Los distintos materiales tienen distintas características que se resumen en cinco gráficos comparativos.

Respecto al módulo inicial, representa la capacidad de un hilo para resistir el estiramiento. Cuanto más alto sea el módulo, menos estiramiento.

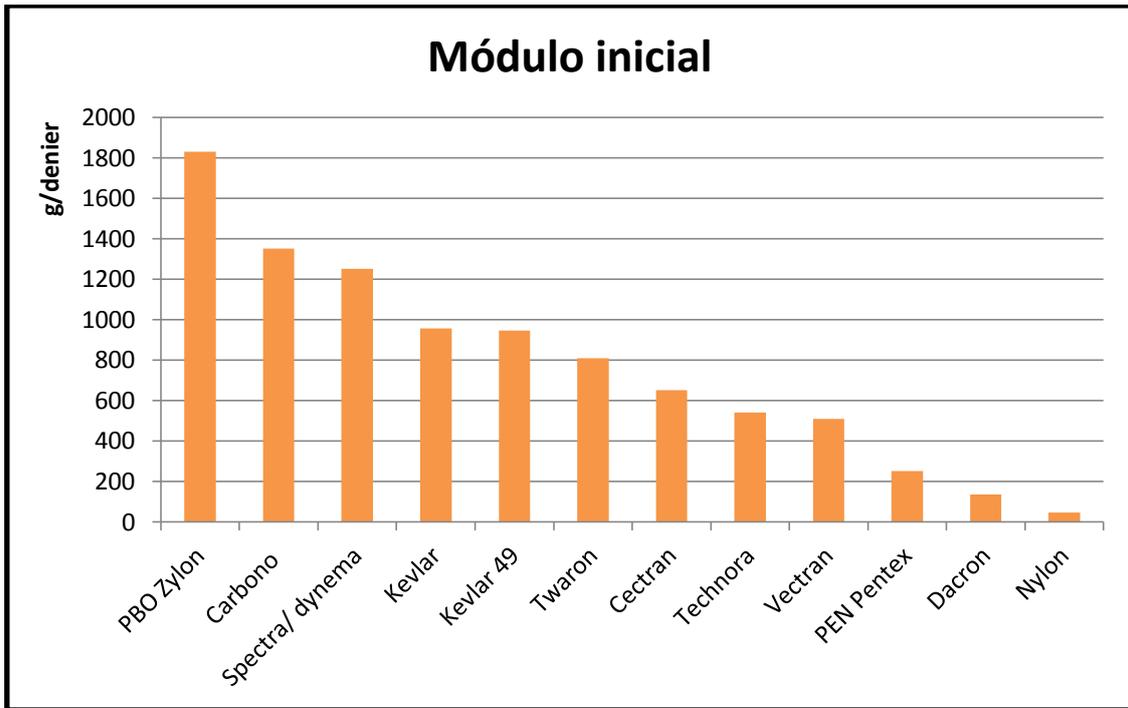


Figura 5-13 Gráfica comparativa del módulo inicial de los principales materiales utilizados para la confección de velas

Respecto al módulo inicial, presentan mejores características el PBO o el Carbono. Entre las fibras de polietileno hay una diferencia entre el Spectra o Dyneema, valores que doblan a los del Cectran. De las fibras de aramida destaca el Kevlar por delante del Twaron, y del Technora. El Vectran es la fibra de poliéster con mejor capacidad de resistencia y por último, la poliamida o Nylon es el que presenta mayor estiramiento.

La tenacidad indica la resistencia a la rotura inicial de un hilo. Los números más altos indican que se necesita una carga mayor para romper la fibra. Destaca el Carbono por delante del PBO. Las aramidas tienen una resistencia a la rotura inicial del hilo bastante similar entre ellas. El Nylon y las fibras de poliéster tienen una resistencia menor, excepto el Vectran, con una resistencia superior. Los distintos tipos de polietileno presentan una diferencia considerable el Spectra o Dyneema tiene una resistencia que dobla la del Cectran.

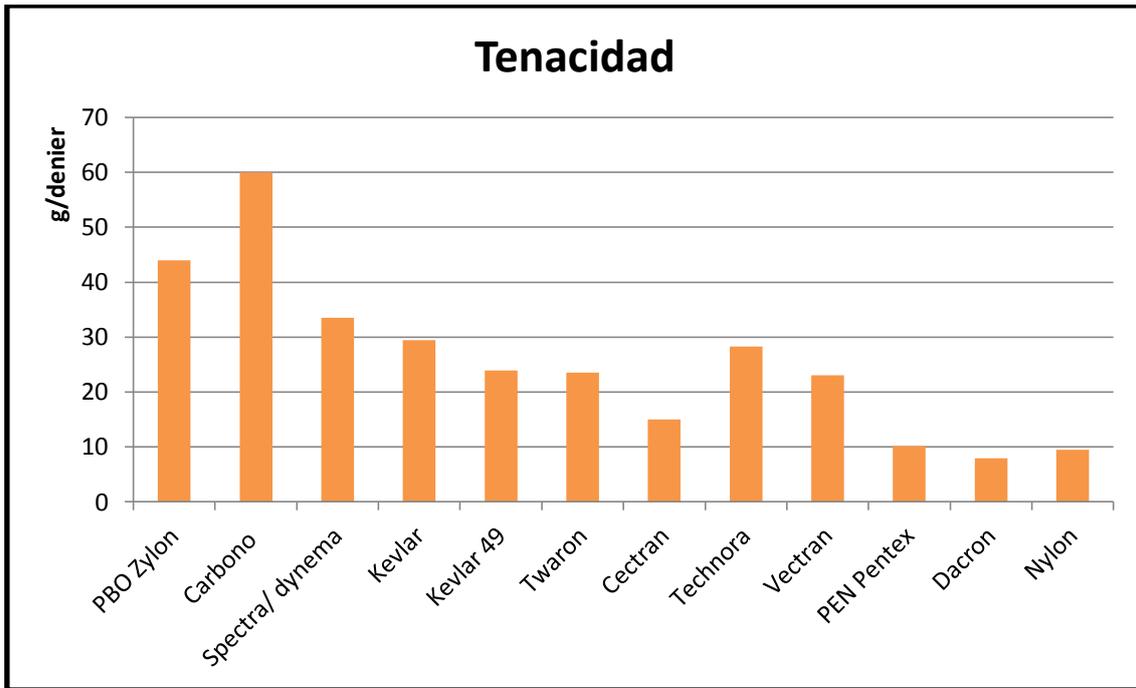


Figura 5-14 Gráfica comparativa de la tenacidad de los principales materiales utilizados para la confección de velas

La flexibilidad es una medida para la capacidad de un hilo para resistir la flexión y el plegado. Los números más bajos indican una menor pérdida después de 60 ciclos.

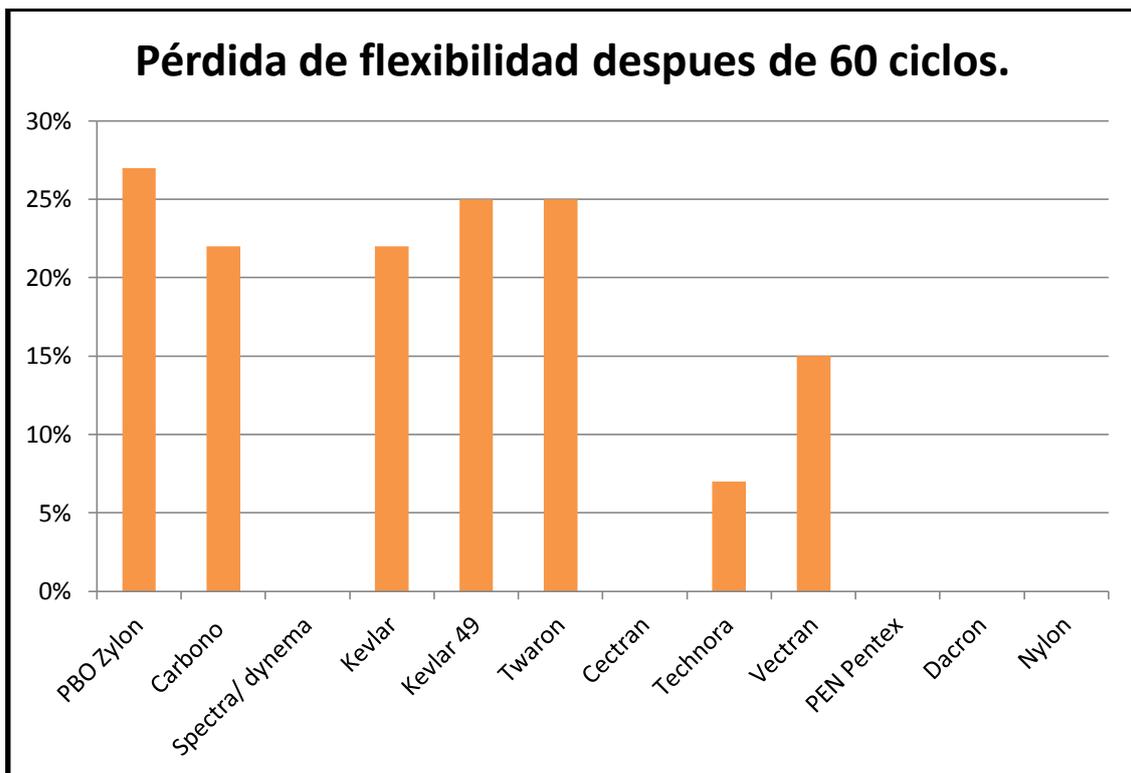


Figura 5-15 Gráfica comparativa de la pérdida de flexibilidad de los principales materiales utilizados para la confección de velas

Algunos de los materiales que hasta el momento presentan mejores prestaciones tienen un porcentaje de pérdida de flexibilidad más elevado. Tras 60 ciclos, el PBO, el Kevlar, el Twaron y el Carbono tienen una pérdida de alrededor del 25%. Del resto de fibras las únicas que presentan pérdidas de flexibilidad son el Vectran (15%) y el Technora (7%). Las demás no presentan ninguna pérdida de flexibilidad después de 60 ciclos.

La resistencia UV se representa en función de la cantidad de tiempo que tarda un hilo en perder el 50% de su módulo inicial. Las pruebas de resistencia UV normalmente se realizan con la exposición UV artificial.

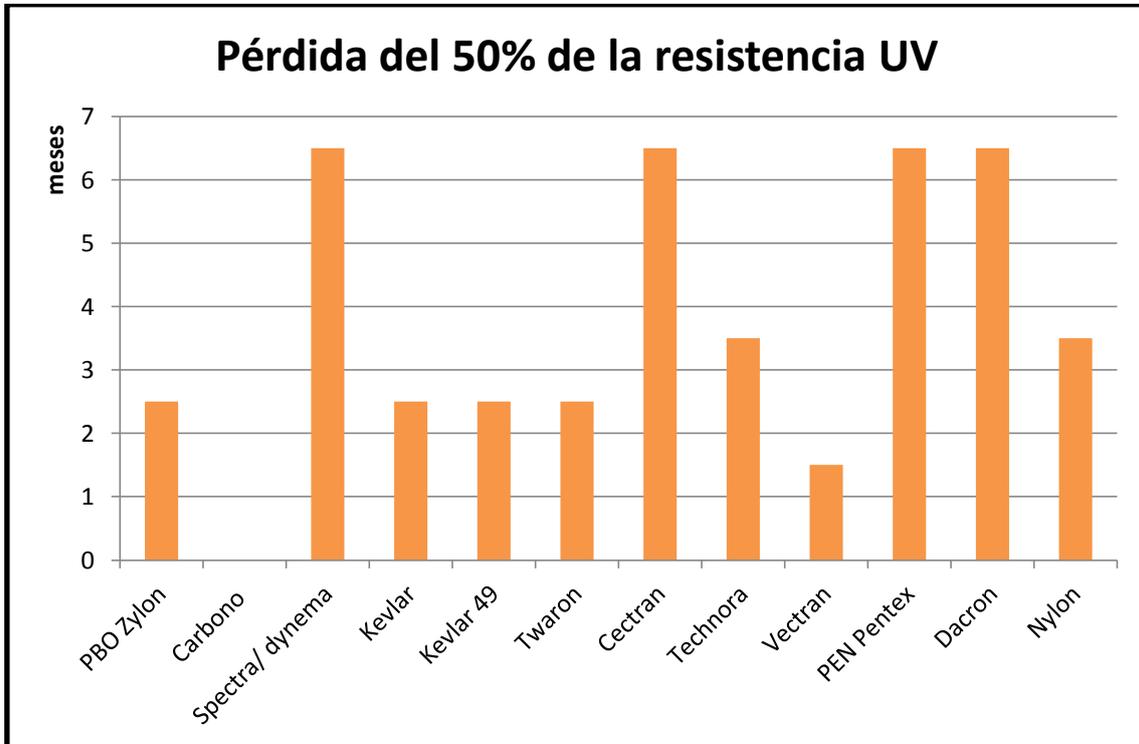


Figura 5-16 Gráfica comparativa de la pérdida de resistencia UV de los principales materiales utilizados para la confección de velas

Presenta una alta resistencia a los rayos UV, entre 6 y 7 meses, las fibras de polietileno, el Spectra o Dyneema y el Cectran, y dos de las fibras de poliéster, el Pentex y el Dacron. El Nylon y el Technora resisten entre 3 o 4 meses y el PBO y las aramidas, entre 2 y 3. Al Carbono no le afectan los rayos UV.

El alargamiento a la rotura es una medida de la capacidad de un hilo para resistir las cargas de impacto. La mejor resistencia a las cargas de impacto la presenta el Nylon (13%). Por debajo se encuentra el Dacron (8%), el Pentex (6%) y el Spectra o Dyneema (5%). Alrededor del 4% se encuentra el Cectran y el Technora.

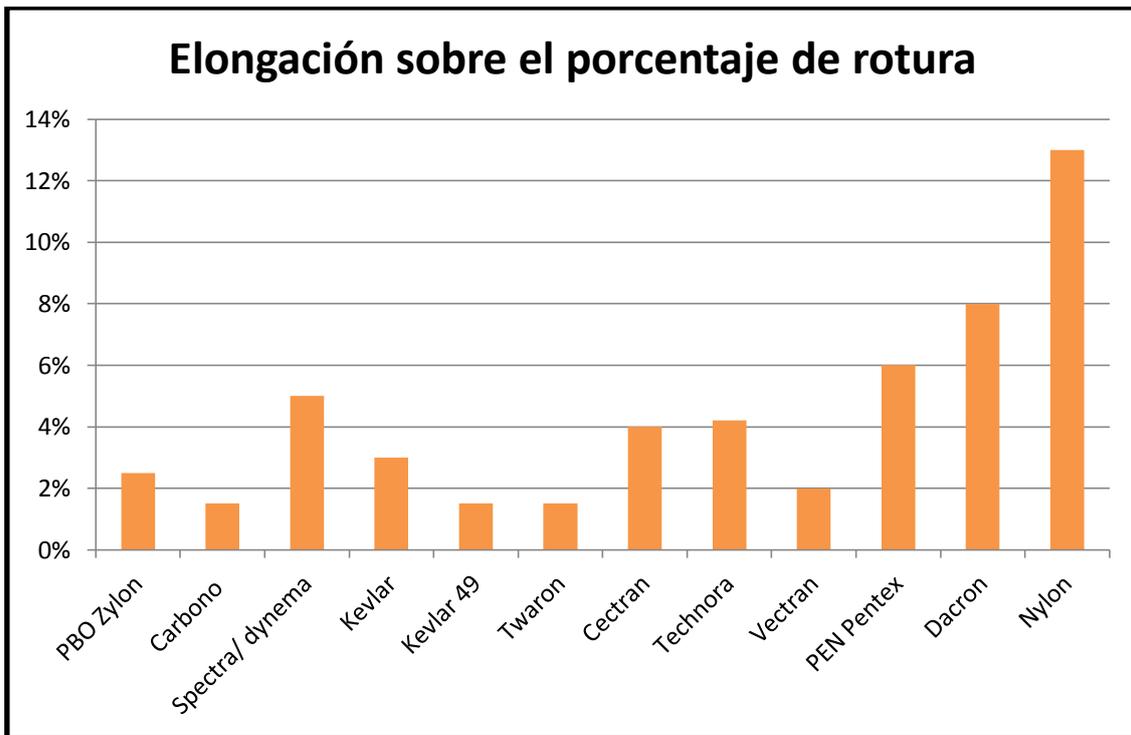


Figura 5-17 Gráfica comparativa de la elongación de los principales materiales utilizados para la confección de velas

Tras el análisis de las características de los distintos materiales, a nivel global, se extrae que los que presentan mejores prestaciones son el Spectra o Dyneema y el Carbono. Actualmente el Spectra o Dyneema se utiliza mucho para la elaboración de cabuyería a cierto nivel de competición. El carbono se utiliza tanto para la confección de las velas como para algunas partes del barco, destaca por su ligereza y resistencia. El Kevlar o el PBO también tienen muy buenas características. Cabe destacar que existe una gran diferencia entre las fibras de polietileno, destaca el Spectra o Dyneema por encima del Cectran. Las aramidas se utilizan más en el campo de la competición y el poliéster en el crucero.

También se extrae que el Nylon es el material más elástico y con mayor resistencia a las cargas de impacto y el que presenta mayor elongación sobre el porcentaje de rotura y por tanto es el material más idóneo para velas como los *spinnakers*, que al hincharse de golpe las cargas de impacto son muy elevadas y es necesario que el material sea elástico sin perder la flexibilidad con el tiempo. Además presenta una resistencia UV media y al tratarse de una vela que sólo está expuesta cuando se utiliza, en condiciones determinadas en las que el ángulo de entrada del viento es de 120° o superior, tampoco es necesaria una mayor resistencia.

### 5.2.3 MÉTODOS DE DISPOSICIÓN DE LAS FIBRAS

#### 5.2.3.1 TEJIDOS

El tejido está formado por dos capas de hilos entrecruzados que se obtienen por medio de un telero. La capa longitudinal recibe el nombre de urdimbre y la transversal, trama.

Hasta finales de los años setenta, todos los materiales de vela utilizados eran materiales tejidos en telares. Se utilizaba ya desde los años cincuenta y sobre todo sesenta

exclusivamente hilos basados en fibras de poliéster para las velas en general y de poliamida para los *spinnakers* y velas para vientos portantes.

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS TEJIDOS

Un tejido se caracteriza por su peso, también llamado gramaje, y según la fuerza de viento y el tamaño de la vela a que irá destinado se elige el tejido que va a ser utilizado. En función de la zona, su peso viene expresado en onzas de velero u onzas por yarda o en gramos por metro cuadrado<sup>9</sup>.

En el momento de elegir un hilo se tiene en cuenta el grosor y el número de filamentos, y también la torsión que se ejerce sobre el hilo. La torsión es el número de vueltas por metro que tiene un hilo. Para hilos constituidos por fibras cortadas, la torsión juega un papel importante a la hora de definir su resistencia, en cambio para hilos de filamentos continuos no es tan importante. No todos los hilos están sujetos a torsión, eso depende del uso final de cada uno.

La resistencia que ofrece un tejido viene determinada por las características de los hilos que la componen, por lo que resulta que la resistencia será función de la resistencia individual de cada hilo. Aunque la resistencia de los hilos se puede obtener fácilmente, el diseño de los tejidos es más complejo. Hay que tener en cuenta el peso y la densidad de la fibra destinada a la trama o la urdimbre. El grado de ondulación entre ambas es la deformación que provocan los hilos de la trama al pasar por encima y por debajo de la urdimbre. Esta ondulación debe ser equilibrada. Tiene influencia en el tejido cuando el estiramiento se produce al someterlo a una tensión diagonal.

Otras variables que afectan a las características del tejido son las que intervienen en el proceso de obtención del tejido. El tipo de telero utilizado, la tensión que se debe aplicar sobre la urdimbre producida al separar los lisos, para poder insertar la trama. La fuerza del batan también influye, aunque en menor grado, para obtener una densidad determinada.

Las técnicas en el tejer son importantes para que el tejido resultante sea el deseado. Actualmente el tejido se realiza en los teleros de gran producción, que utilizan sistemas de inserción de trama como el proyectil, tanto de agua, como de aire, en sustitución de los teleros lanzadera.

---

<sup>9</sup> La equivalencia es  $1 \text{ oz/yd} = 24,8 \text{ gr/m}^2$ .

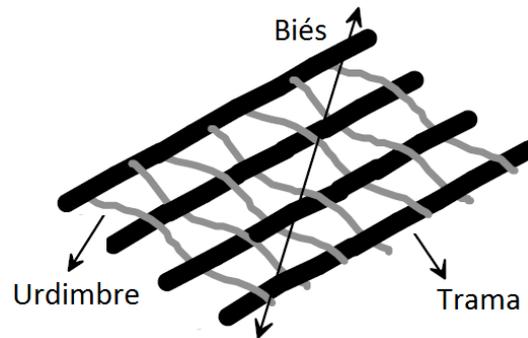


Figura 5-18 Tejido formado por hilos entrecruzados

El comportamiento de los tejidos varía según sea la dirección del esfuerzo aplicado sobre el mismo, por tanto se trata de una estructura no isótropa. Si se ejerce una tracción en el sentido de los hilos, al hilo, los tejidos casi no se deforman y presentan una elasticidad parecida a la de los hilos, un poco más en el urdimbre que en la trama. Por el contrario, si se tira al biés, se deforman mucho, oponiendo una resistencia muy pequeña. Para limitar esta deformación se recurre a diversas técnicas que muchas veces se combinan entre sí.

Una de las opciones es confeccionar un tejido muy apretado que permite bloquear los hilos entre sí, y que limita la posibilidad de deformación en el sentido del biés, con lo que se consigue más elasticidad en la urdimbre. Una vez efectuado el tejido, se vuelve a hacer lo mismo en el tratamiento de estabilización de la fibra. Este tratamiento hace que encoja, lo cual aumenta un poco más la compresión.

Otra técnica es comprimir o aplastar el tejido, es decir plancharlo por medio de una gran presión para que los hilos se superpongan perfectamente unos con otros.

La última opción es ponerle apresto untándolo o impregnándolo con un producto que pegue o suelde hilos entre sí, como puede ser una resina polímera. De este modo se obtiene un aumento de la resistencia al biés. El inconveniente que tiene esta técnica es que una vela con apresto soporta muy mal que la manipulen incorrectamente, las acciones como el flameo o el plegado dentro de las bolsas son bastante perjudiciales, por lo que esta técnica es adecuada para las velas de regata.

En materia de velas no sólo se utilizan tejidos clásicos, sino que también se utilizan otros en los que la disposición de la trama y la urdimbre es diferente y presenta ejes de resistencia reforzados. Los tejidos con una diferencia en los filamentos o hilos de la trama y la urdimbre, son tejidos desequilibrados, es decir, tienen una resistencia al estiramiento completamente distinta en cada sentido. Este tipo de tejidos recibe el nombre de unidireccionales, sólo son resistentes en una única dirección. El tejido final debe tener una cierta resistencia, que puede ser más elevada en el sentido de la trama o en el de la urdimbre, en función de las especificaciones. Se utilizan en las velas en que las cargas están distribuidas en una dirección determinada.

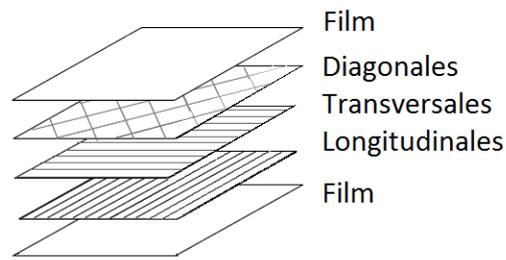
Los tejidos que tienen igual peso en la trama y en la urdimbre se utilizan en velas que tienen una distribución de cargas por todo el ancho de la vela.

Otro parámetro a tener en cuenta es que, si un tejido se deforma poco al hilo y mucho al biés, hay que unir las franjas de tejido, es decir, los paños, de manera que trabajen en el sentido del hilo.

### 5.2.3.2 LAMINADOS

Tipo de confección de material de velas que se basa en un compuesto de múltiples capas de materiales distintos en las que los hilos se encuentran dispuestos en distintas direcciones, encolados entre sí.

A finales de los años setenta, aparecieron los primeros materiales en los que la estabilidad de forma ya no se buscaba a base de resinados, sino que se adhería a un lado del tejido una lámina fina de poliéster, normalmente Mylar, con muy buena resistencia a la deformación en todas direcciones. Es decir, consiste en un proceso por medio del cual se pegan fibras o tejidos a una o varias películas de un material resistente que hace de soporte.



**Figura 5-19 Laminado compuesto de varias capas de distintos materiales  
Depoorter**

Un tejido laminado es extraordinariamente más ligero que un tejido convencional y sus prestaciones son iguales o mejores. El inconveniente que tiene es la dificultad de unión de las distintas capas del laminado para obtener un producto que dure el mismo tiempo que uno convencional.

En los tejidos convencionales las variantes que intervienen en la obtención de un tejido son el número de fibras, el peso por metro cuadrado, las pasadas de hilo por centímetro, el tipo de acabado. Con sólo la combinación de estas variables se obtiene una gran variedad de los tejidos para la confección de velas, pero si a ello le sumamos la aparición de los laminados, en los que pueden intervenir de dos hasta más de cuatro capas de distintos materiales se multiplican las posibilidades de obtención de un tejido y por tanto la variedad de propiedades que puede tener cada uno de ellos.

La evolución de los primeros laminados ha ido hacia un material compuesto por hilos grandes y rectos, es decir, longitudinales o verticales a la vela, que son los que soportan la mayor parte de la tensión en las velas cortadas. El siguiente paso son los hilos transversales, horizontales a la vela, que le dotan de resistencia transversal. Posteriormente, hilos colocados diagonalmente para mejorar la resistencia del tejido.

Se puede diseñar tejidos o laminados que aguanten esfuerzos en distintas direcciones. Un ejemplo de ello son los tri-direccionales, variando el sentido de las fibras entre las diferentes capas del laminado.

Otra ventaja de los laminados es que no precisan de ningún acabado, el propio laminado dispone de ciertas propiedades como es la repelencia al agua, además de que el problema del bias es mucho más reducido o inexistente.

El film se mantiene en tensión constante, para mantener la misma forma durante todo el proceso de obtención del laminado. Sobre el film se aplica una capa de pegamento mezclada con disolventes e inmediatamente se hace pasar por un horno a alta temperatura para evaporar una parte del disolvente que lleva el pegamento. Se obtiene una lámina con una capa uniforme de cola, preparada para recibir el tejido que posteriormente es pegado. El tejido se aplica con precisión sobre la lámina y a continuación se pasa todo el conjunto por unos cilindros a presión y con cierta temperatura. Con la presión se distribuye la cola de manera uniforme y se mantiene la disposición del tejido mientras se unen las diferentes capas y con la temperatura la cola se seca y de esta forma esta hace su función.

Hay diferentes posibilidades de construcción de laminados según el uso al que vaya estar destinada la vela y a los esfuerzos que deba aguantar.

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS LAMINADOS

Los laminados han ido evolucionando y cambiando su composición. Los laminados están formados por distintas capas de materiales en las que los hilos se encuentran dispuestos en distintas direcciones, todo ello laminado entre dos films de Mylar. Las distintas capas que forman el laminado están compuestas por:

- hilos gruesos y rectos, que van en sentido del rollo y que son los que soportan la mayor parte de la tensión en velas cortadas radialmente a las tensiones.
- hilos transversales al rollo que le dan resistencia transversal y al rasgado.
- hilos colocados diagonalmente para mejorar la resistencia al biés.

#### TIPOS DE LAMINADOS

En función de la fibra utilizada para los hilos se distinguen entre materiales a base de muchas fibras distintas, que no tienen por qué ser las mismas en las distintas orientaciones. Aparte de los distintos gruesos o pesos de los laminados para adaptarlos a las fuerzas que tendrán que soportar, se pueden distinguir tres tipos distintos:

- Laminados simples o *Triply*. Están formados por un compuesto de distintas fibras colocadas longitudinalmente, transversalmente y radialmente y encoladas entre dos filmes. Normalmente estos materiales son a base de fibras de alto módulo para la alta competición aunque también se utiliza mucho con fibra de poliéster para las velas de regata de los monotipos y regatas de club. Es el material más ligero pero el menos duradero.
- Laminados con *taffeta*. Laminado simple pero con un tejido de gramaje muy ligero llamado "*taffeta*" adherido a una cara o a las dos. Es un material muy habitual con

fibra de poliéster en velas para regatas de club o en velas para mucho viento que hace que soporten mejor el flameo. Se utiliza cuando se quiere alargar la vida de la vela, aunque sea a costa del peso de la misma.

- **Sándwich.** Laminado compuesto de cinco capas. Las capas interiores son las que procuran al material la resistencia a la deformación de los materiales de competición, y las capas exteriores son de tejido muy fino, *taffeta*, para dar a la vela la longevidad, tacto y aspecto de los mejores tejidos de crucero. Normalmente las fibras son de poliéster, aunque para grandes yates se utiliza Spectra, Vectran e incluso carbono.
- **Cuben Fiber.** Laminado a base de capas muy finas de filamentos no tejidos de Spectra, Carbono o incluso Dacron y PEN dispuestos en el sentido de esfuerzo de la vela. En vez de laminar con filmes encolados, se impregnan las fibras con resina de Tedlar, resina epoxi, registrada por la firma Du Pont, con excelentes propiedades. Se está introduciendo para velas de alta competición, Copa América o competiciones oceánicas de alto nivel. El resultado es una especie de estratificado de fibras muy delgado y ligero con unas características muy buenas de indeformabilidad y duración. Según la cantidad de capas de fibra utilizada, se aplica tanto en los *spinnakers* más ligeros, como en las velas más pesadas de competiciones oceánicas. El precio y la limitada producción de este material es su gran inconveniente.

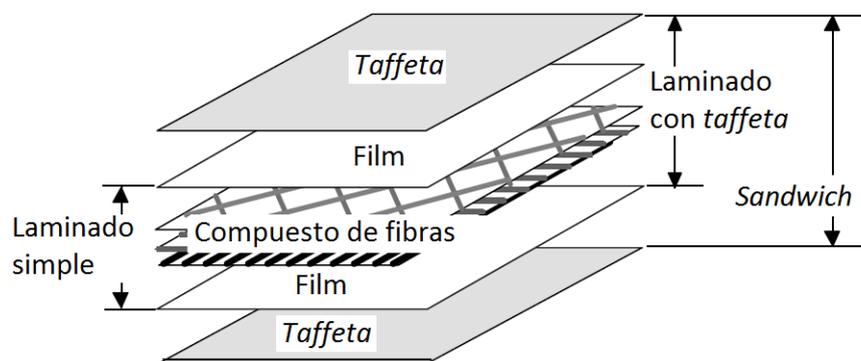


Figura 5-20 Composición de distintos tipos de laminados  
Depoorter

Dentro de los laminados también se encuentran las telas multiaxiales. Un tejido tiene dos únicas direcciones de los hilos, los hilos en el sentido de la trama, que forman 90° respecto el eje longitudinal del tejido y los hilos en el sentido de la urdimbre, que forman 0° respecto al eje longitudinal. Un tejido multiaxial es aquel que tiene hilos en direcciones diferentes a las anteriores, como por ejemplo a 30° o 60°.

Las ventajas de las telas multiaxiales son:

- Alta resistencia por una capa de hilos extendidos. Los hilos que forman la trama o los de la urdimbre están colocados completamente planos y están extendidos en el tejido, lo que permite que para un tejido multiaxial se aproveche totalmente la resistencia específica de las fibras.
- Características casi isotrópicas.
- Multitud de combinaciones diferentes en la fabricación de las capas.
- Distribución óptima de las densidades del hilo en las diferentes direcciones de tensión.

- Alta resistencia y ahorro mediante una alta densidad del hilo. La cantidad y el tipo de fibras son características determinantes para la resistencia del laminado.

## **CAPÍTULO 6. FABRICACIÓN DE LAS VELAS**

### **6.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO**

Hasta hace unos años, uno de los principales problemas que existían, y además, frenaban el desarrollo tecnológico del diseño de velas, y su posterior fabricación, era la falta de modelos numéricos que pudieran simular, con confianza y con exactitud, el comportamiento estructural de las velas en condiciones de uso. Esta carencia obligaba a basarse en criterios semiempíricos de prueba y error, en función de la experiencia, tanto profesional como de navegación, del diseñador.

La falta de instrumentos de análisis del comportamiento estructural de las velas, ya fuera en velas hechas con tejidos convencionales, como laminados, se debía a la intervención de distintos fenómenos complejos, y además, muy relacionados entre ellos. Se trata de ecuaciones constitutivas de los materiales no lineales, trabajo conjunto de elementos con propiedades distintas (matrices y fibras de refuerzos), anisotropía del tejido, grandes movimientos y grandes deformaciones, además de relaciones no lineales entre ellos, y por último, la existencia de la acción del viento sobre la misma.

La carencia de modelos numéricos del sistema de la vela y la embarcación ha sido una importante barrera para la optimización estructural de los elementos, y ha impedido disponer de una herramienta racional, que permitiese la investigación de nuevas soluciones de diseño y procesos de producción.

Las velas tienen una forma curva y normalmente se fabricaban uniendo los distintos paños por medio de puntos de unión, bien encolados o costuras, hasta conseguir la forma deseada. Este proceso plantea importantes problemas, ya que las costuras son puntos débiles, en los que se pueden producir deformaciones y roturas, que reducen la rigidez, resistencia y durabilidad de las velas. Además, la unión de los distintos paños dificulta la obtención, con precisión, de la forma deseada. Los puntos de unión, a su vez, suponen un incremento del peso de la vela, ya que normalmente estos están sobredimensionados, para poder soportar las tensiones con un margen de seguridad. También dificultan la optimización del trazado de las fibras de refuerzo, ya que estas son interrumpidas en cada punto de unión de los diferentes paños. Con el paso de los años, las disposiciones han evolucionado para que las fibras estén dispuestas de la forma más continua posible y orientadas según los esfuerzos.

La aparición de programas de diseño, análisis y cálculo han facilitado el trabajo de las velerías y han sido cómplices de un cambio en el mundo de la fabricación de las velas, ya que actualmente, antes de producir una vela, se puede mejorar mucho el primer diseño conceptual, ya que a partir de las reacciones de la vela en el simulador se puede llegar a conclusiones con las que se realizan cambios en el diseño de la vela.

El funcionamiento de las velas es difícil de definir, depende de muchos factores. Es difícil que se repitan dos instantes iguales y la predicción de lo que puede pasar no se puede definir en términos simples.

Hasta hace 30 años las velas se diseñaban planas. El perfil final se conseguía por medio de la curva de grátil y de la propia deformación del tejido. Actualmente, también se puede obtener una vela de esta manera, aunque las mejoras introducidas en el diseño de las velas proporcionan un perfil más idóneo para cada embarcación concreta.

En todas las velerías se utilizan programas informáticos para obtener un perfil óptimo, pero el que introduce y varía las características para obtener un perfil óptimo, sigue siendo el propio velero o la persona encargada del diseño, aunque los programas ayudan a definir los perfiles.



**Figura 6-1 Diseño y fotografía de las velas de un J/111  
Tack Velas**

El diseñador está en contacto con el navegante, quien aporta toda la información necesaria para realizar mejoras y para establecer las directrices que deberá seguir la velería.

### **6.1.1 PLANTEAMIENTO**

Para diseñar el mejor perfil, hay que plantear las características principales del proyecto como son el programa de navegación, las características del barco y el presupuesto destinado al proyecto.

#### **6.1.1.1 PROGRAMA DE NAVEGACIÓN**

Para determinar el programa de navegación, es necesario determinar cuál es el objetivo de la navegación que va a realizar el barco. Los factores influyentes son la zona de navegación que determinará el tipo de condiciones meteorológicas generales, como el viento o las olas, y si quiere realizar competición o crucero. En el caso que la elección sea competición se deberá

especificar el nivel y el tipo de regatas que se quieren realizar, de altura o costeras. También es necesario determinar si la vela en cuestión estará dedicada a rumbos más abiertos o cerrados.

En el caso de las velas dedicadas a la competición, estas están hechas a medida, por lo que se les añade un coste adicional, que incluye una investigación específica dedicada a un barco con unas características concretas. Los materiales que se van a utilizar para este tipo de velas son ligeros, resistentes y por lo tanto, su precio es elevado.

La vela de crucero utiliza materiales parecidos a los de competición, aunque sus características no son tan buenas, ni sus precios tan elevados. La forma de los perfiles corresponde a unos valores de profundidad más bajos que los de competición, para no crear una vela tan potente y para que su navegación sea más sencilla.

En función del programa de navegación se determinará el material, que marcará las pautas del diseño. El material es escogido según la finalidad, en la que se incluye la durabilidad, aunque siempre estará condicionado por el presupuesto del proyecto.

#### **6.1.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL BARCO**

algunas de las características que van a determinar el tipo de vela a diseñar son el tipo de barco, si se trata de un barco moderno o clásico; el tipo de línea, el modelo y la gama del barco, la eslora, la manga y el peso del mismo. Si se trata de un barco pesado, serán necesarias unas velas con mayor superficie y más embolsadas para dar más potencia o si por el contrario es un barco ligero, unas velas más planas. Otras características importantes son el tipo de maniobra o el tipo de instrumentos de trimaje de la que dispone el barco, como si dispone o no de enrollador o cuál es la longitud del carro de génova, y el número de tripulantes que a su vez depende de la eslora del barco y del tipo de maniobra que lleve montada. Además, es importante analizar la jarcia, su disposición y materiales.

A partir de los factores nombrados, se establece cuál va a ser la relación del peso con la superficie velica.

#### **6.1.1.3 PRESUPUESTO DEL PROYECTO**

El presupuesto dedicado al proyecto en muchos casos determina cuál va a ser el tipo de diseño a realizar o el tipo de materiales que podrán utilizarse.

#### **6.1.2 MEDICIONES**

Para poder llevar a cabo el diseño de las velas es necesario facilitar a la velería algunas de las medidas principales del aparejo y de las velas. Se distingue entre las medidas que son necesarias para el diseño de una vela mayor y las que son necesarias para el de una vela de proa, ya sea un génova, un foque, o una vela para vientos portantes. Cuanto mayor sea la cantidad de información de la que dispone la velería, más ajustado será el trabajo que podrán realizar. La medición del aparejo se realiza con el barco a flote y la jarcia aparejada, tal y como va a regatear el barco. Según el reglamento del sistema de competición, en el caso de disponer

de más de una vela del mismo tipo, habrá que declarar las medidas de las velas de mayor área tanto en mayor, génova como *spinnaker*.

### 6.1.2.1 PARA LA MAYOR

Altura de grátil de la mayor o P: Es la distancia, a lo largo de la cara de popa del mástil, desde el nivel más alto al que se puede izar al puño de driza de la mayor hasta el puño de amura, concretamente hasta la parte superior del grillete de amura. En el momento de realizar las mediciones la botavara debe estar en la posición en la que está al navegar y el grillete a 60°. Si esta distancia ha sido medida con anterioridad, el punto más alto y el punto más bajo estarán marcados y P será la medida entre marcas.

Pujamen de la mayor o E: Distancia entre la cara de popa del mástil y el punto de máximo cazado del puño de escota de la mayor, que también deberá estar marcado. Será la longitud, medida a lo largo de la botavara en posición horizontal.

Longitud máxima de la baluma: Distancia entre la salida de la driza de la mayor hasta la parte superior de la botavara en la medida de la marca E.

Cadenas de la mayor: distancias entre el grátil y la baluma tomadas a distintas distancias de la parte superior de la baluma. A siete octavos de la parte superior de la baluma esta distancia recibe el nombre MGT, a un cuarto de la parte superior de la baluma, MGU y a la mitad de la baluma, MGM

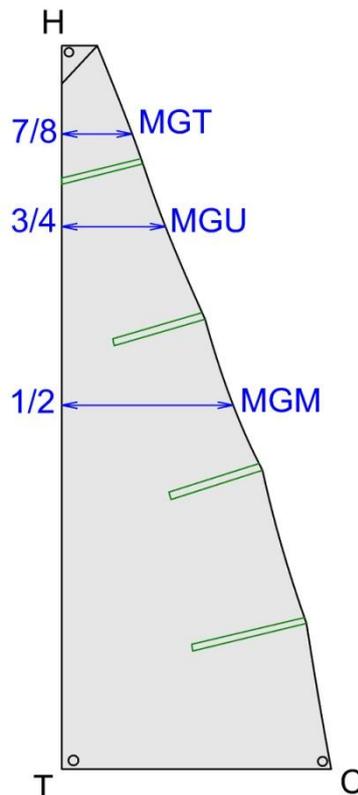


Figura 6-2 Cadenas de la mayor

La vela deberá estar sobre el suelo, extendida y sin arrugas. Para marcar los puntos de medición sobre la baluma habrá que plegar la vela de modo que el punto de medición del HB, en el grátil, esté sobre la prolongación del pujamen y baluma en el puño de escota. En la doblez estará el punto de medición de MGM, plegando una vez más se tendrá el valor de MGU y plegando nuevamente se tendrá el MGT. El procedimiento de medición se realiza poniendo el cero de la cinta métrica sobre las marcas correspondientes y midiendo en sus distancias mínimas al borde exterior de la relinga del grátil.

Cartabón de mayor o HB: Es la máxima distancia, perpendicular al grátil, entre la parte exterior del grátil de mayor, o su prolongación, hasta el borde exterior de la baluma. En caso de existir un endurecimiento o un sable por encima del punto de MGT o cadena mayor tope, HB se medirá como la distancia horizontal entre el grátil y el punto virtual de intersección entre la perpendicular al grátil por el punto más exterior de la vela y la línea que une el punto de MGT y el punto exterior del sable o endurecimiento.

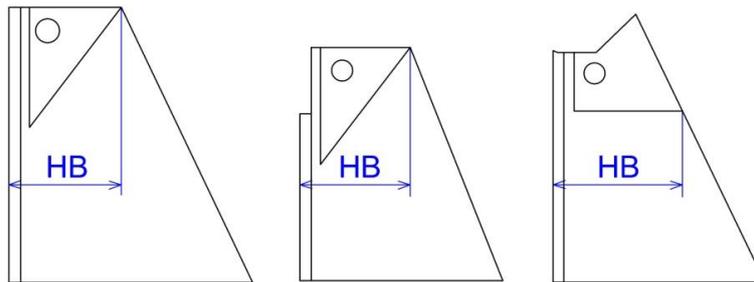


Figura 6-3 Ilustración de distintos tipos de cartabón de mayor

Distancia al rizo: Distancia horizontal entre la cara posterior del mástil hasta el anclaje o polea del rizo. Si hay más de un rizo, habrá más de una distancia.

Altura de la botavara o BAS: Distancia vertical entre el punto inferior de medición de P y la línea inferior de cubierta o línea de cinta.

Anchura de la botavara o BD: Máxima anchura vertical de la botavara de la mayor. Por reglamento no se permiten botavaras de anchura mayor a  $0,08 \cdot E$ .

Posición del *backstay*: Distancia entre la cara posterior del mástil, a lo largo de la botavara, hasta el *backstay*, será necesario hacer una prolongación de la botavara, que debe estar a  $90^\circ$ .

Además de estas medidas principales, hay otras que sin tener tanta importancia pueden ayudar a la velería a simplificar su trabajo y proporcionar un ajuste óptimo.

Dando flexión al mástil dando tensión al *backstay* y utilizando la driza de mayor como referencia, situada en la intersección del mástil con la botavara se puede estimar la flexión que experimenta el palo. Realizar la medida o estimar la distancia entre la driza y el propio mástil sirve para poder conocer la flexión del mástil.

Pueden ser de ayuda los detalles del grátil como el tipo, si se trata de una relinga de cabo, si es de sable forzado o de patines y en cada uno de los casos detalles de especificación de cada uno. Otra información de ayuda es el sistema de fijación del puño de escota.

### 6.1.2.2 PARA VELAS DE PROA

Altura de driza de génova o IG: Altura máxima de la salida de la driza del génova hasta la línea de cubierta.

Triángulo de proa o J: Distancia horizontal desde la cara de proa del mástil de más a proa en su base hasta el punto de intersección del *stay* en cubierta. Para encontrar el punto donde el *stay* corta la cubierta se desestima cualquier herraje, tensor, o enrollador que pueda estar montado sobre el *stay* buscando la proyección de éste hasta llegar a la cubierta.

Grátil de la vela de proa o JL: Medida correspondiente al grátil de la vela de proa. Se mide a lo largo del grátil entre los puños de driza y amura ejerciendo la presión suficiente como para eliminar las arrugas. Esta medida se toma con la vela en tierra y totalmente.

Cartabón de la vela de proa o JH: Es la máxima distancia, perpendicular al grátil, entre la parte exterior del grátil de la vela de proa, o su prolongación, hasta el borde exterior de la baluma. Se mide de forma similar a HB.

Perpendicular de la vela de proa o LPG: Es la distancia entre el grátil y el puño de escota, se medirá perpendicularmente al grátil, con el cero en el puño de escota y tangenteando en la parte exterior del grátil, de modo que se obtenga la menor distancia.

De forma parecida a la vela mayor, en las velas de proa se mide más de una perpendicular a distintas distancias referidas al puño de escota. JGT es la distancia de la baluma hasta el grátil medida a  $7/8$ , JGU es la distancia a  $3/4$  y JGM es la distancia medida en la mitad de la baluma hasta el grátil,

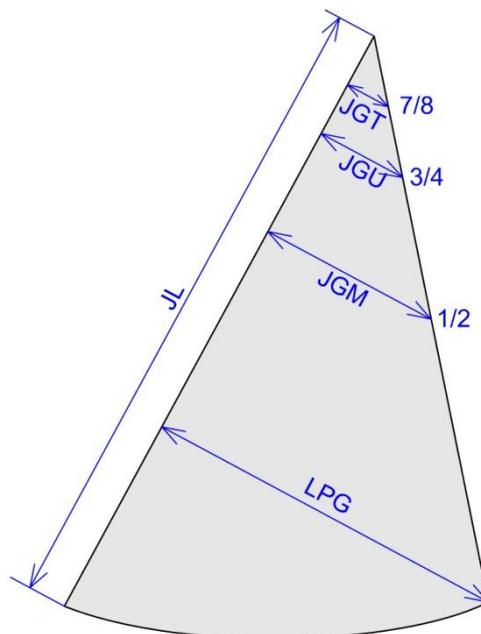


Figura 6-4 Perpendiculares de la vela de proa

Altura de driza de *spinnaker* o ISP: Altura máxima de la salida de driza de *spinnaker* hasta la línea de cubierta.

Longitud del tangón o botalón: Distancia máxima entre la cara de proa del mástil y la parte exterior del tangón o botalón. En el caso del tangón esta medida se denomina SPL y en el caso de botalón, TPS.

Las velas de los *spinnakers* se deben medir en el suelo y secas, al tomar las medias se debe dar la tensión suficiente para eliminar las arrugas en la línea de medición.

Grátil y baluma de *spinnaker* simétrico o SL: Distancia entre el puño de driza o Head y el puño de escota o de amura, se mide contorneando los bordes de la vela que deberá estar plegada por su eje de simetría.

Cuerda media del *spinnaker* simétrico o SMG: Distancia en el punto medio de la baluma o grátil al punto medio de la otra baluma o grátil.

Pujamen de *spinnaker* simétrico o SF: Es el doble de la distancia mínima medida tangenteando desde el puño de escota hasta el eje de simetría.

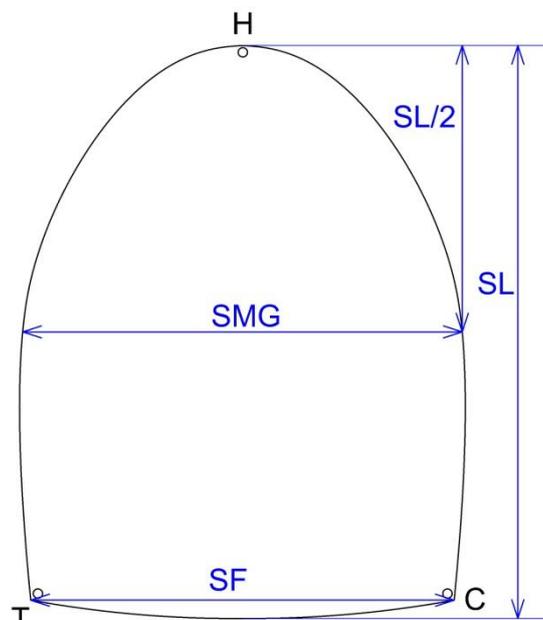


Figura 6-5 Principales medidas de un *spinnaker* simétrico

Longitud de grátil del *spinnaker* asimétrico o SLU: Longitud del lado mayor del *spinnaker* asimétrico. Se mide contorneando el borde de la vela, desde el puño de driza al de amura.

Longitud de la baluma del *spinnaker* asimétrico o SLE: Longitud del lado menor del *spinnaker* asimétrico. Se mide contorneando el borde de la vela, desde el puño de driza al de escota.

Cuerda media del asimétrico o AMG: Longitud más corta entre el punto medio del grátil y el punto medio de la baluma. Los puntos medios se obtienen plegando la vela desde el puño de driza hasta el puño de escota y el puño de amura.

Pujamen del asimétrico o ASF: Distancia más corta entre los puños de escota y amura.

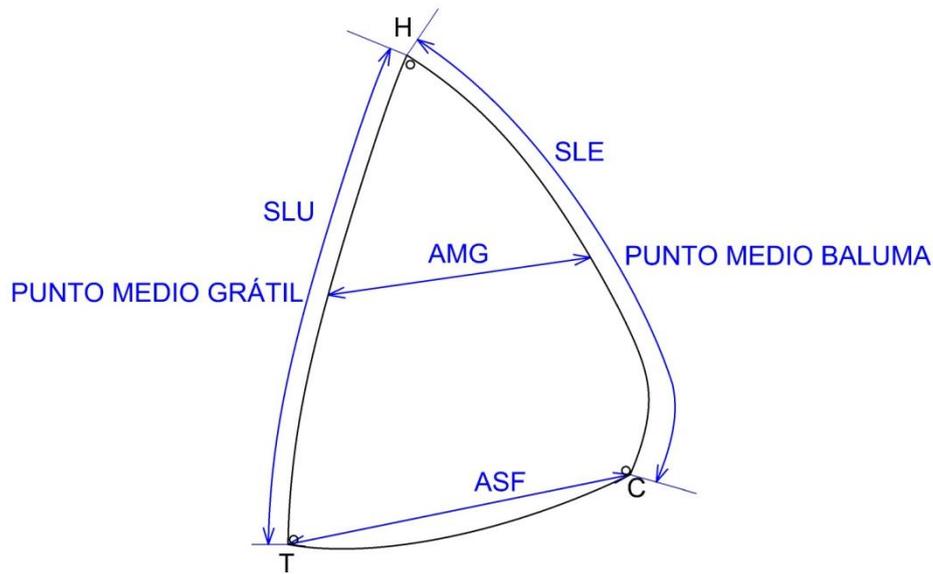


Figura 6-6 Principales medidas de un *spinnaker* asimétrico

En el caso que el barco disponga de un mástil de mesana, se seguirá el mismo procedimiento seguido hasta ahora, aunque las medidas recibirán otros nombres. PY corresponde a la misma definición que P pero para el palo de mesana. Sucede lo mismo con EY, JLY y LPGY.

### 6.1.3 DISEÑO

El diseño empieza con la proyección del aparejo, que se realiza a través de las mediciones. Se pueden crear simulaciones realistas de distintas configuraciones de aparejos, introduciendo en el programa los datos que corresponden a las mediciones específicas del barco. El diseñador recrea y duplica un plano vélico realista, específico para el hardware y el aparejo de la embarcación. De este modo, se puede visualizar cualquier posible conflicto o incompatibilidad entre el emplazamiento de la vela y la configuración del aparejo, lo que permite la modificación y optimización de la geometría de la vela final.

Existen dos tipos de proyecciones en función del tipo de vela a realizar:

- Vectorial. Este tipo de proyección se utiliza en proyectos simples como, por ejemplo, en el diseño de las velas de barcos de crucero.

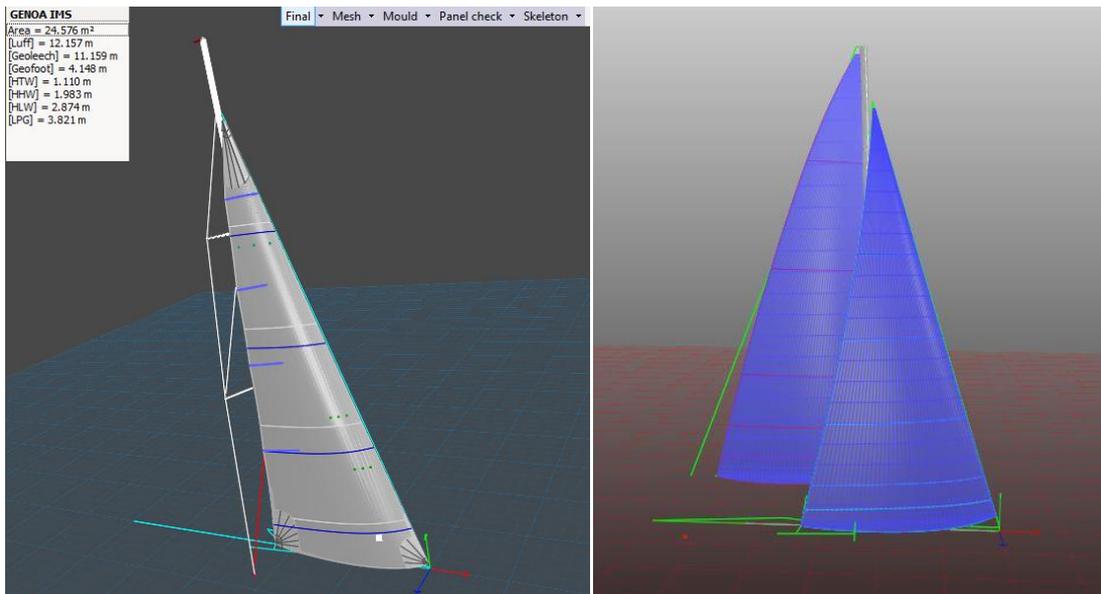


Figura 6-7 Proyección vectorial  
Tack Velas

- Volúmenes. Para realizar una proyección de este tipo son necesarias más medidas que las principales como los francobordos, la eslora o la manga. En este caso se realiza una proyección del barco entero, casco incluido.

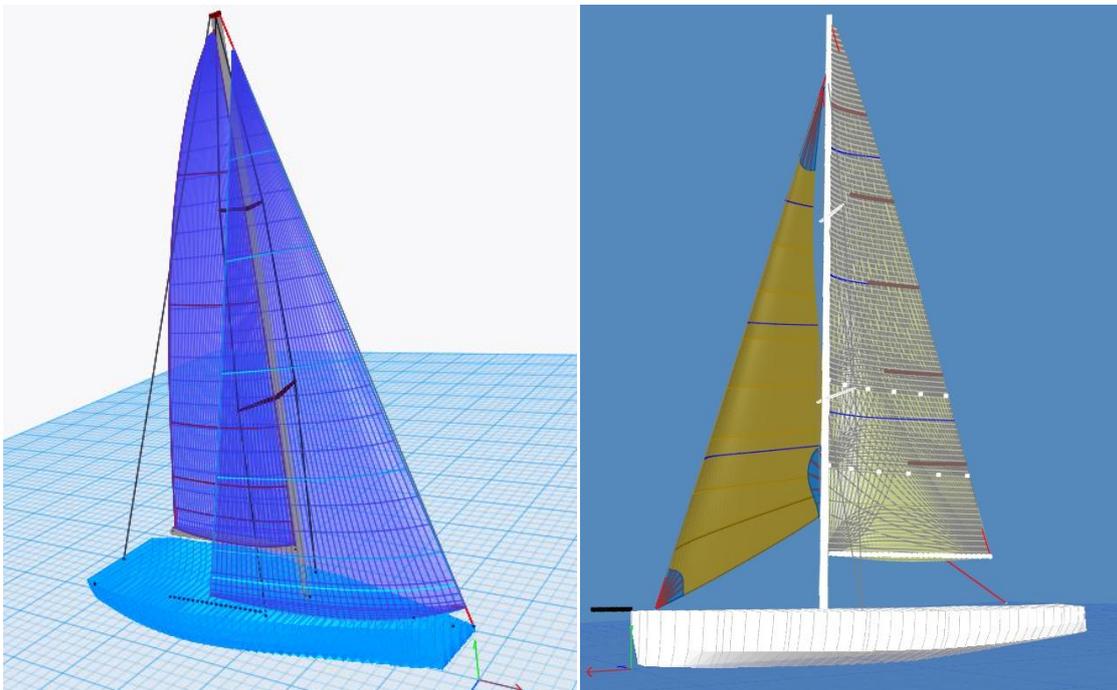


Figura 6-8 Proyección volumétrica  
Tack Velas

Según el programa de navegación que se haya determinado para el velero o el tipo de navegación a realizar, se establecerán las pautas básicas para el diseño de un tipo de vela, distinguiendo entre una vela para crucero, para regata o para una finalidad concreta. Se establecen cuáles van a ser los perímetros de la vela, el tipo de vela que se quiere diseñar.

Técnicamente, este paso se denomina *Layout outline* o esquema de diseño. Una vela de regata se diseñará con mucho alunamiento, con el objetivo de aumentar la superficie vélica. A su vez, esta parte del proceso también depende de las características del barco, a modo de ejemplo, la curva de grátil tendrá una forma diferente en función del material del que sea el palo.

Según las características del barco, se determinará la forma de la vela a través de *profiles*. Se determina la profundidad de la bolsa o *camber*, la propia posición de la bolsa, en sentido tanto horizontal como vertical, el ángulo de entrada y el ángulo de salida. También está incluido el diseño de la curva de grátil, el *twist* o apertura de la baluma, el alunamiento o *roach* tanto de la baluma, como del pujamen y del grátil que puede tener curvas positivas o negativas, y la determinación de la anchura del puño de driza.

El resultado final de este proceso es un molde virtual en 3D de lo que es la membrana de la vela. La forma de la vela depende de la experiencia y habilidad del diseñador de la misma. Al conocer cuáles son las características del barco, se determinarán las formas que van acorde con las características. Un barco con el palo muy alto, será un barco nervioso y para este tipo de velas el diseño deberá ser plano. En cambio, un barco con poco palo será un barco noble y serán necesarias unas velas más potentes.

#### **6.1.4 DISEÑO PARA LA FABRICACIÓN**

En el caso que la distribución sea por paños, con el objetivo de obtener el *layout* general de la vela para la fabricación, se fracciona la membrana virtual en secciones o paños, se distribuyen los sables, los refuerzos y los detalles. En otros tipos de sistemas estructurales, como el de membrana se realizará la distribución de los hilos.

La distribución de los paños se realiza mediante un programa que los separará, dándoles la forma bidimensional exacta, para que una vez cortado el material por el plotter, al unirlos se obtenga la forma tridimensional prevista virtualmente.



**Figura 6-9 Ejemplo de distribución de los paños para cortar en el plotter Tack Velas**

En función del material escogido para la vela, se determinará cuál va a ser el tipo de corte para los paneles y, en consecuencia, también el gramaje. En un corte horizontal, se va usar un solo gramaje y los refuerzos serán más grandes. En un corte radial, habrá gradientes de gramaje, variará el grosor del material en función del punto.

Se especifica el número, el tamaño, la orientación y la ubicación de sables. Los sables evitan el flameo de la baluma, causado por el alunamiento o curvatura de la vela, que sobresale de la línea recta imaginaria que va desde el puño de driza hasta el puño de escota. La posición de los sables se determina teniendo en cuenta que, entre ellos, hay un alunamiento o *roach* propio. Además, los sables pueden ser cortos o largos, también llamados forzados. Las velas con sables forzados tienen la ventaja que aumentan la superficie vélica, ya que la baluma puede diseñarse con un alunamiento mayor. Puesto que toda la superficie vélica está soportada por sables, una vez trimada, la vela no puede cambiar descontroladamente su perfil. Con ayuda de patines especiales, la vela puede adaptarse a diferentes condiciones de viento. Si se iza en un aparejo a tope de palo, el resultado será bastante rígido. Con poco viento, para generar más embolsamiento, se aumenta la presión de los sables y cuando aumenta la fuerza del viento, para aplanar la vela, se reduce la tensión de los sables.

Los refuerzos son zonas donde hay un mayor número de capas de tejido situadas en zonas puntuales. Los puños son zonas sometidas a esfuerzos puntuales mayores y, por ese motivo, es necesario reforzarlos. El tipo de refuerzo puede variar su forma en función de las necesidades específicas de cada puño. Se dispone más de una capa del mismo material, casi siempre de forma radial, unido mediante costuras.

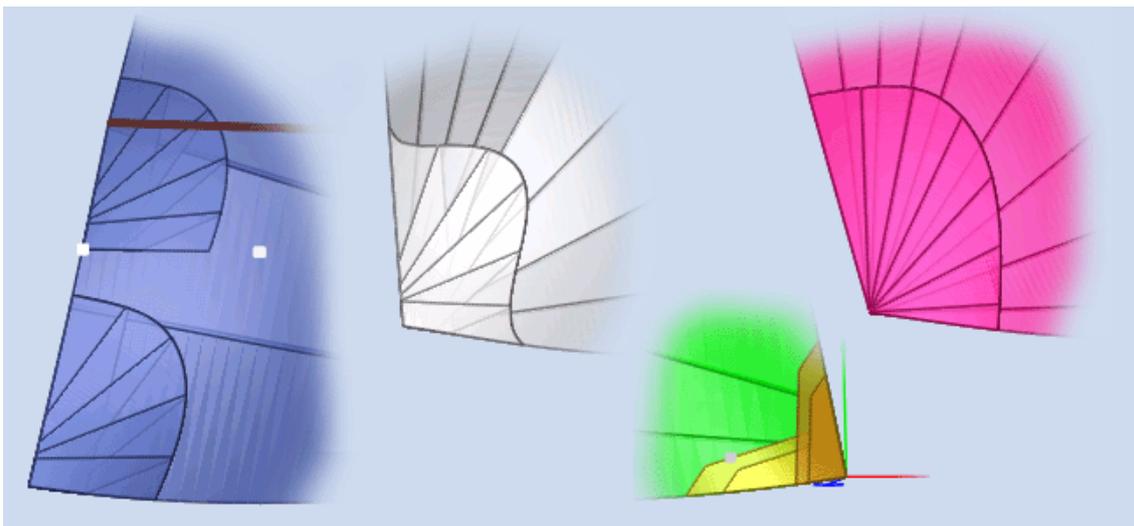


Figura 6-10 Refuerzos de la vela  
BSG Developments

Por último, se distribuyen sobre la vela detalles tales como marcas propias para la fabricación, la posición de las lanitas, las bandas de *trimming*, las ventanas o la posición del número de vela.

El diseñador puede elegir entre presentar el diseño final como una hoja de producción, una hoja de diseño y/o una hoja de distribución de paneles. En la hoja de distribución de paneles,

el resultado del diseño es descompuesto en el número de paneles finales, que son dispuestos de la forma más optimizada posible, para que el plotter realice el corte del material.



Figura 6-11 Plotter  
Tack Velas

### 6.1.5 ESTUDIO AERODINÁMICO DE LA VELA Y SUS ESFUERZOS.

*Relax* es el nombre del primer software de evaluación aeroelástico que se utilizó para el estudio aerodinámico y es el nombre que muchas veces recibe la acción de realizar el estudio. Este tipo de estudios sólo se llevan a cabo en proyectos elitistas, tales como aquellos que vayan a participar en importantes regatas como la Copa América o la *Volvo Ocean Race*, o algún estudio concreto para la evolución de un diseño. Destacar que estos estudios son lejanos a la realidad de la mayoría de las velerías.

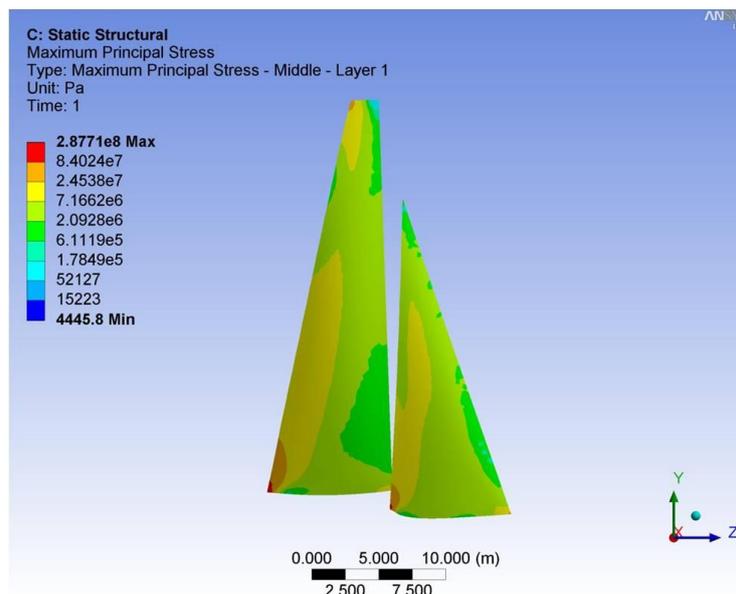


Figura 6-12 Estudio aerodinámico de una vela  
Tack Velas

Para poder estudiar los distintos diseños se realizan estudios en túneles de viento, aunque los resultados se reducen a estudios ideales en los que el barco no presenta movimientos laterales

ni transversales. Por otro lado, es muy difícil encontrar una fórmula que determine cuál es la dirección del viento y su intensidad en función de la altura respecto la superficie del mar.

## 6.2 TECNOLOGÍAS DE ELABORACIÓN

En función del tipo de material elegido para el proyecto, se determina la tecnología de elaboración de la vela, siempre teniendo en cuenta que las líneas de carga forman curvas entre los puños de la vela. Existen distintos tipos de disposiciones así como distintos tipos de sistemas de unión.

### 6.2.1 DISPOSICIÓN ESTRUCTURAL

Se utilizan diferentes tipos de disposición de velas. El sistema más utilizado es la disposición de paños que tiene distintas variantes. Otros sistemas más desarrollados, aunque menos utilizados son las membranas estructurales, conocidas generalmente como 3DL o membrana en secciones, y el *Tape-Drive*.

#### 6.2.1.1 PAÑOS

El sistema de paños es el sistema más pesado, pero a la vez, dependiendo del número de paños a unir, es el de más rápida obtención. Es un sistema muy utilizado para embarcaciones de vela ligera y para cruceros pequeños de hasta 45 pies aproximadamente.

Para este sistema, se utilizan materiales fabricados en serie, bobinas de tejidos, que se cortan para formar los paños de formas diferentes.

Una de las disposiciones más utilizadas es el *Cross-cut*, en la que los paneles se disponen de forma perpendicular a la baluma. Otra disposición muy similar recibe el nombre de *Twist Foot*, en ella, la diferencia está en que los paneles inferiores están rotados un cierto ángulo de forma que no interseccionen con el pujamen de la vela. El *Horitzontal Cut* es aquel en el que los paneles están dispuestos de forma horizontal. En el *Vertical Cut* los paneles están dispuestos de forma paralela a la baluma.

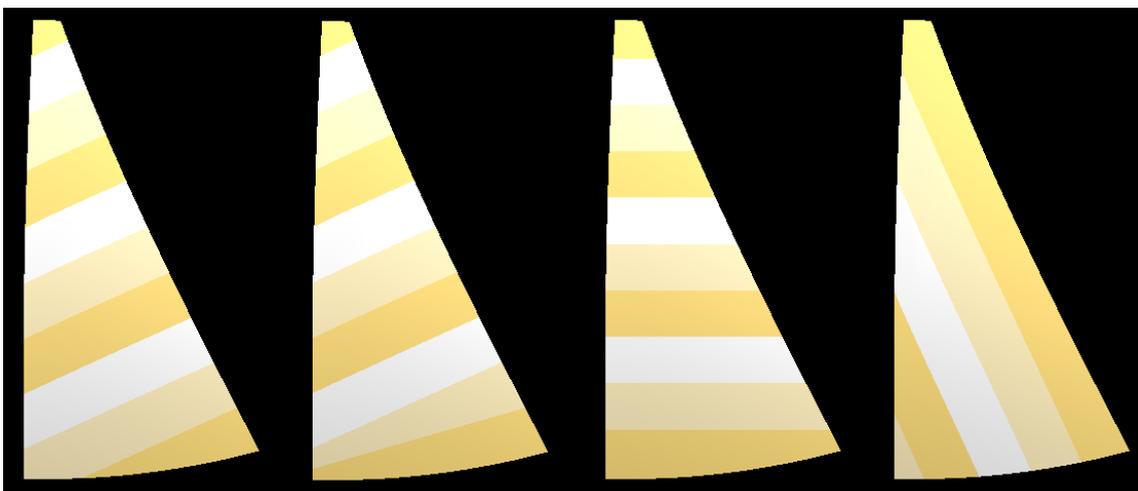
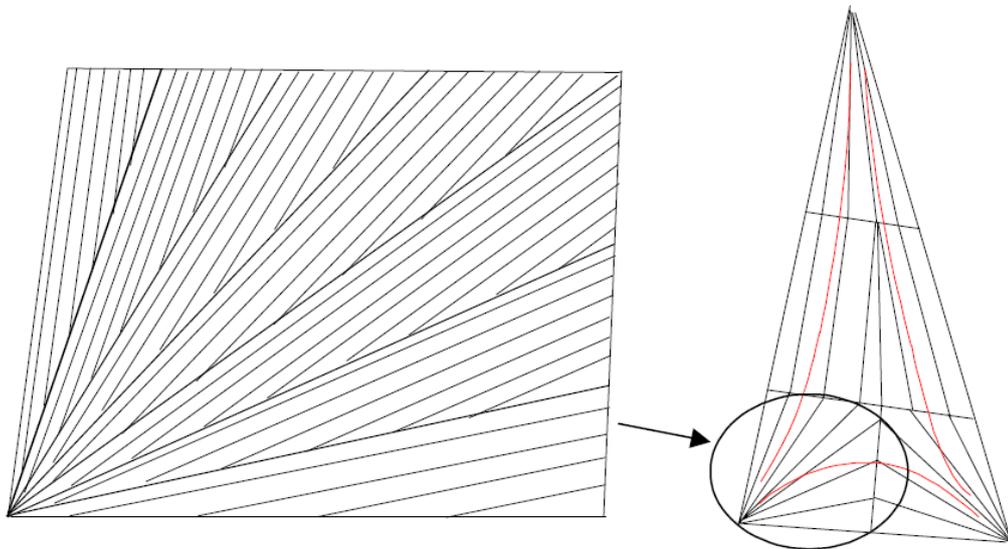


Figura 6-13 Disposición de paños: *Cross-cut*, *Twist Foot*, *Horitzontal Cut* y *Vertical Cut*

Con el objetivo de optimizar la disposición de las fibras que contienen los materiales, los paños se ensamblan intentando orientar el sentido del hilo en la dirección en la que va a recibir el máximo esfuerzo y en el cual se desea la mínima deformación posible. La disposición de los paños siguiendo estas directrices, recibe el nombre de "cortes orientados". Se distinguen distintos tipos de cortes orientados, realizando planos de montaje de forma bi-radial o tri-radial con más o menos costuras, aunque la norma general sigue siendo la misma, alinear, en cualquier punto de la superficie de la vela, el eje de esfuerzo con la trama del tejido.

El primer sistema utilizado fue el corte radial, que fue posible gracias a la llegada de los primeros materiales laminados en los que la fibra principal, del rollo de material, está orientada en el sentido longitudinal, el de la urdimbre. En este tipo de corte, los paños confluyen radialmente hacia los puños de las velas, de donde parten las mayores tensiones. Con este sistema, se pueden utilizar, además, materiales de distinto gramaje de fibra, según las necesidades de cada zona de la vela.

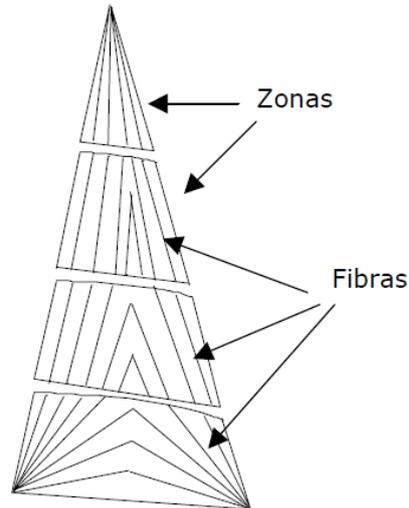


**Figura 6-14 Disposición tri-radial de paños Depoorter**

Este tipo de distribución de paños, se utiliza en velerías que disponen de sistemas de diseño y corte por ordenador. Como las fibras principales que hay en el interior de los materiales laminados van paralelas entre sí, cuanto más cerca del vértice del puño la cantidad de fibra es más reducida. Por este motivo, se hace necesaria la colocación de refuerzos radiales de material laminado relativamente grandes y pesados, por lo que no es recomendable la elección de este sistema para velas de regata, en las cuales se busca el máximo rendimiento.

Una mejora de este sistema, sería aquella en la que las fibras convergieran hacia los vértices de la vela a partir de una distancia en la que las tensiones empezaran a ser, progresivamente, más fuertes.

Otra solución es subdividir la vela en varias zonas planas de material laminado, fabricadas de forma unitaria para cada vela, de tal forma que las fibras queden bien dirigidas en el sentido de las tensiones.



**Figura 6-15 Vela subdividida en zonas con fibras dirigidas Depoorter**

Estas zonas planas se unen entre sí, con las correspondientes curvas de unión para inducir la forma tridimensional de la vela acabada.

Como inconveniente, tiene el riesgo de estar formado por zonas planas de tamaño considerable que pueden afectar a la forma tridimensional de la vela.

#### 6.2.1.2 MEMBRANAS ESTRUCTURALES

Se trata de una tecnología revolucionaria que consiste en el laminado y la distribución de fibras en el sentido de las tensiones directamente sobre la vela. En todas las membranas, la forma de la vela se le da por el sistema de paños horizontales. En resumen, son velas laminadas en las que se introducen fibras para reforzarlas.

Se distinguen sistemas distintos, patentados según las distintas tecnologías utilizadas por algunas de las principales marcas de velas. Se distingue entre las 3DL y el resto, que se pueden agrupar como membranas en secciones o en *box*.

- 3DL:

El sistema 3DL termo-moldea las velas en una membrana unitaria sobre un molde tridimensional con curvatura a escala real. Dispone los hilos de fibra, de forma que van de un puño a otro, sin ningún tipo de discontinuidad. Este tipo de velas se presentan con una resistencia muy elevada, ligeras, con poco estiramiento y con un rango de viento efectivo amplio.

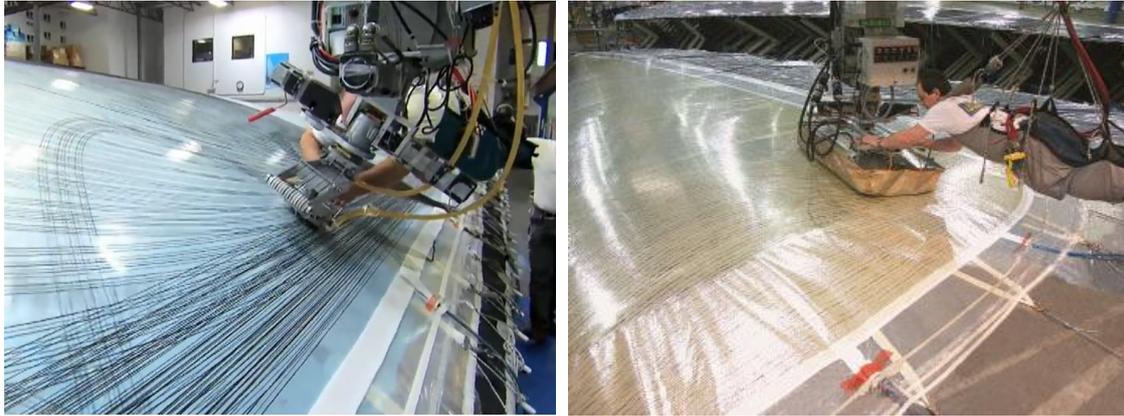


Figura 6-16 Modo de confección de las velas 3DL  
North Sails

Las 3DL se construyen por medio de paños horizontales de Mylar que dan forma a la vela. El molde permite que los hilos se dispongan en su posición de trabajo y en su tensión de trabajo encima de la capa de Mylar y tras ser depositados, se coloca la otra capa. Se envuelve todo en una bolsa, y se aplica una presión de vacío ( $3.500 \text{ Kg/m}^2$ ) y un curado térmico. De esta forma, el laminado se comprime y rodea las fibras. La laminación se lleva a cabo con los hilos en su posición y tensión de trabajo. Aunque el soporte de Mylar no sea continuo, los hilos si lo son, algo que no sucede en ningún otro sistema de membrana.

Los adhesivos que se utilizan en los laminados 3DL se fabrican específicamente para la fabricación de velas. Están diseñados para curar en dos fases. La primera forma una robusta superficie de adherencia entre la fibra y los films que las envuelven. La segunda trabaja en el interior, ajustando firmemente las fibras en su lugar e incrementando la durabilidad de la vela.

Un problema de este sistema es el espacio que se necesita para poder hacer la vela. Para su obtención es necesario un molde de unas dimensiones algo mayores que la vela, que es la base sobre la cual se trabaja en todo momento. Destacar que, las capas base se obtienen por medio de la unión de paños cortados previamente.

- Membrana en secciones:

Estas membranas están diseñadas por ordenador. Las direcciones de los hilos de refuerzos pueden ser orientadas de la forma deseada, según las direcciones de las fuerzas principales. Se diseña un tejido distinto para cada vela, con unas direcciones de esfuerzos similares, pero no idénticas entre sí. El resultado obtenido es una vela resistente, pero muy ligera.

El laminado, al igual que en las velas 3DL está formado por un film, las fibras dispuestas en el sentido de los esfuerzos y otra capa de film. La estructura se puede confeccionar con multitud de fibras, según el uso al que estén destinadas: Polyester, Pentex, Aramida, Technora, Carbono, Vectran, o Dyneema. Y la capa exterior puede ser film de Mylar o *taffeta*, dependiendo del programa de navegación.

Se lamina de forma continua en 2D, con los hilos en sus posiciones de trabajo. La laminación se lleva a cabo con tecnologías que combinan alta presión con técnicas de vacío y calor. Una vez laminada la vela, se corta en secciones, que posteriormente serán unidas dándoles forma a

través de bordes curvados. Se unen las secciones ofreciendo una estructura continua aunque los hilos no lo sean. Los hilos son dispuestos a través de una máquina regulada por ordenador que tiene en cuenta cuales van a ser las secciones. La disposición del hilo se establece de tal forma que al unir las secciones, el hilo siga la misma línea de esfuerzo. Para asegurar la unión de las secciones, se unen entre sí utilizando sistemas avanzados de unión como ultrasonidos.



**Figura 6-17 Modo de confección de las velas de membrana  
Sail World**

El laminado obtenido es más regular que en una vela 3DL, ya que se ha lleva a cabo por una máquina a presión constante. En las velas 3DL, al laminar sobre una superficie curva, a través de un pórtico automatizado conducido por una persona que sobrevuela la vela, es muy difícil que la presión aplicada sea constante.

### **6.2.1.3 TAPE-DRIVE**

Se trata de una mezcla entre el *Cross-cut* y la membrana estructural. Se depositan tiras adhesivas de fibras unidireccionales sobre una vela hecha mediante paños. En este tipo de velas, la estructura que soporta la carga, y la base aerodinámica son distintas y están separadas. La base tiene funciones distintas a las de las fibras.

Las funciones de la base son dar forma a la vela, evitar que pase el aire de barlovento o sotavento creando la sustentación aerodinámica, y proporcionar una superficie sobre la cual se puedan fijar los *Tapes* de alta tenacidad. Las funciones de las fibras, dentro del laminado de la base, son aguantar las cargas aerodinámicas locales y las sufridas entre *Tapes*, impedir la rotura de la base y aumentar la durabilidad y la vida física del laminado.

Al comparar este tipo de velas con las tri-radiales, se observa que mientras en la tri-radial se produce una distorsión de la dirección de la carga, en las *Tape-drive* la dirección de la carga y la dirección de los *tapes* coinciden.



Figura 6-18 Comparación entre unas velas tri-radiales y unas *Tape-drive*  
*Ukspain Sailmakers*

Entre las ventajas de este sistema, destaca el hecho que los materiales que soportan la carga sigan la orientación de las líneas de carga de la vela. Además, en función de la concentración de la carga en una zona determinada, variará también la densidad o el gramaje del material en la zona. La forma de la vela está dada por corte horizontal, un buen método para darle forma a cualquier perfil aerodinámico.

#### 6.2.1.4 COMPARACIÓN ENTRE LAS DISPOSICIONES ESTRUCTURALES

Todas las evoluciones en las distintas disposiciones estructurales han ido en la misma dirección, hacia velas cada vez más ligeras, hacia la optimización de los rangos de viento para los que la vela tenga un buen funcionamiento y hacia la obtención de velas mucho más resistentes. Todo ello conlleva un alargamiento de la vida útil de la vela, y a su vez, que ésta mantenga la forma del perfil con la que fue diseñada.

Uno de los problemas más repetidos en las velerías es que en el momento de probar las velas, estas no tengan la forma deseada, y por lo tanto haya que realizar alguna rectificación. Es habitual que la vela vuelva a la velería para modificar su perfil o rectificar la profundidad.

Para realizar este tipo de cambios se debe descoser o desencolar la vela para volver a unirla tras rectificar lo que sea necesario. La realización de estos cambios no es complicado en los sistemas tradicional y Tape Drive. Cuando esto sucede con una vela realizada con un sistema 3DL, surge un problema. Una rectificación en la forma final de la vela puede traducirse en la rotura de la malla, lo que significaría la pérdida de todas las ventajas técnicas de las que disponía al inicio. Podrían interrumpirse los hilos que están dispuestos de forma continua. La nueva unión debería hacerse forzosamente con una costura o encolado. En el sistema de membranas en secciones, aparte de cortar y modificar, se cambia el paño por otro nuevo.

En cuanto a las velas de cruceros no dedicadas a la competición, los requisitos más demandados son su longevidad y que su coste no sea muy elevado, por lo que los sistemas más adecuados son el sistema de paños o el Tape Drive.

### **6.2.2 SISTEMAS DE UNIÓN DE LOS PAÑOS**

Los paños siempre van unidos entre sí con distintos sistemas, según las necesidades particulares de cada vela. Una buena unión, sumada a la ligereza de una vela, hace que el rango de viento se amplíe. Una vela con estas características funciona con poco viento, debido a su ligereza, y con más viento, porque mantiene la forma debido a la inelasticidad proporcionada por la unión.

Los paños unidos mediante costuras, antes de ser cosidos deben ser reforzados por adhesivos de doble, cara para evitar que haya movimiento entre los paños mientras se está realizando la costura. Este tipo de unión resulta más económica y presenta facilidades si fuera necesario realizar una reparación. La realización de las costuras es un trabajo mecánico, que una vez es aprendido, es fácil y rápido de realizar. Para facilitar el trabajo de la persona que está realizando la unión, las máquinas de coser se encuentran en el mismo nivel que el suelo para evitar levantar el peso de la vela.



**Figura 6-19 Máquina de coser de una velería situada a nivel de suelo  
Tack Velas**

Las uniones pegadas son más fuertes y más aerodinámicas que las cosidas. Asimismo, duran más tiempo ya que el pegamento queda encapsulado entre los paños del tejido, no expuestos al roce, al sol o al salitre como el hilo en una costura tradicional.

La termosoldadura es un proceso todavía en investigación. Se trata de un proceso mediante el cual dos materiales funden juntos, por acción del calor y presión, produciendo una unión entre ambos suficiente para asegurar la integridad y hermeticidad. Para poder realizar una unión con unas condiciones determinadas de tensión y deformación, hace falta realizar unas uniones solapando los distintos paños con unas medidas bastante grandes, lo que aporta más peso, además de unas zonas más rígidas que otras.

Los adhesivos termoplásticos, se ablandan hasta fundir con la temperatura, por lo que tienen poca resistencia al calor y a la fluencia, lo que puede ser una ventaja en aplicaciones de sellado. Los adhesivos termoestables están formados por polímeros que experimentan, por curado, una transformación física y química irreversible que los hace infusibles e insolubles. Las reacciones de curado pueden ser por condensación o por adición y se pueden conseguir comportamientos mecánicos diferentes ajustando las composiciones y condiciones de curado.

El *Ultra-Bond System*, es un sistema de encolado de paños a alta temperatura, entre 143° y 157° según el material, que impide cualquier deslizamiento de las uniones. Para los materiales más ligeros, permite unir paños sin ningún tipo de costura consiguiendo uniones muy homogéneas y lisas sin provocar posibles micro-desgarros con las puntadas de una aguja.

En el sistema *Q-Bond*, la unión se consigue a través de una máquina desarrollada y construida por *Q-Bond* en Suecia, que aplica ultrasonidos para que el adhesivo reaccione sin distorsionar la fibra superpuesta. Este tipo de uniones aportan inelasticidad, aportando a la vela sensibilidad al trimado.



**Figura 6-20 Máquina que proporciona una unión mediante la aplicación de ultrasonidos  
Epsails**

Así, para una mayor o génova pesado (el que se utiliza para vientos fuertes), que tendrán que soportar grandes tensiones y fuertes flameos, las uniones de los paños radiales, de unos 12 milímetros de anchura, se encolarán primero y luego se reforzarán con una costura. Esta costura asegurará que el encolado, de poca anchura, que trabaja en sentido longitudinal a la tensión no se separe con los flameos y roces.

Para la unión de las zonas de paños radiales, que trabajan en sentido transversal a las tensiones, la anchura de la unión será de 30 a 60 milímetros según el tamaño de la vela. Con estas dimensiones, el simple encolado con el sistema Ultra-Bond, le da a la unión una fortaleza excepcional.

## CAPÍTULO 7. ESTUDIO DEL PLANO VÉLICO DEL VELERO BARCELONA

### 7.1 INTRODUCCIÓN

En 1983, Vicente Belliure con el objetivo de ocupar el espacio intermedio entre los veleros que había diseñado con anterioridad, diseñó y produjo el Belliure 40. Él lo describe como un crucero de gran confort y alto rendimiento en la mar. Optó por un casco de gran manga para tener el máximo espacio habitable, así como la capacidad de soportar el velamen con viento. El timón se retardó todo lo que fue posible a popa para conseguir la máxima virada y maniobrabilidad.

Tanto el casco como la cubierta se realizaron en una sola pieza y de forma independiente y se unieron mediante un laminado de proa a popa. El espacio interior se distribuyó en una sala grande luminosa y confortable, tres camarotes dobles, dos a proa y uno a popa, dos baños y una área de cocina separada.

Fue diseñado con una alta y potente jarcia para obtener un buen rendimiento en régimen de vientos medios. Y se dispuso de dos tipos de aparejo: *Ketch* y *Cutter*. Se construyeron tres unidades en *Ketch* para la Escuela de la Marina Mercante que fueron destinados a La Coruña, a Tenerife y a Barcelona.

Se trata de un velero en que, con palabras de su propio diseñador, se puede "salir a navegar sin preocuparse por la información meteorológica".

Actualmente la Facultat de Nàutica de Barcelona dispone de uno de los tres modelos que se hicieron tipo *Ketch*. El barco se utiliza para realizar salidas con los alumnos y algunas prácticas.

### 7.2 PLANTEAMIENTO

Con el objetivo de aumentar el uso del barco, actualizarlo y optimizarlo, se debe plantear el proyecto siguiendo una serie de puntos. Se deben estudiar las características generales del barco, el programa de navegación establecido y por último, estudiar el presupuesto del que se dispone.

#### 7.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL BARCO

Se trata de un velero de 12,2 metros de eslora, de gran manga, con una alta y potente jarcia. Su calado es de 1,80 metros. La forma del casco es en U y con quilla. El peso del barco es de aproximadamente 11000 kg, por lo que se trata de un barco pesado.

Cuenta con dos palos, el mástil y la mesana. Ambos palos, así como también la botavara son de aluminio. Los palos están sujetos por jarcia de cable de acero inoxidable con una disposición continua. Se trata de un aparejo a tope de palo, en el cual los *stays* de proa y las burdas de popa, así como los obenques altos, van fijados a tope del palo.

El mástil tiene una longitud proa-popa de 27 centímetros y un ancho de perfil de 17. De la parte superior del mástil salen, lateralmente, un par de obenques altos, y longitudinalmente,

hacia proa hay un *stay* fijo y hacia popa un par de burdas. Las burdas consisten en dos cables fijados a ambos lados del mástil que se ajustan mediante el uso de polipastos en sus extremos inferiores. La unión del mástil con el casco es una base o fognadura sobre la cual se encuentra apoyado el palo. El interior de la embarcación cuenta con un vástago de compresión. El mástil dispone de dos pisos de crucetas en ángulo recto, un par de obenques diagonales y dos pares de obenques bajos. La anchura de la primera cruceta, la más alta, es de 1,36 metros y la de la segunda, de 1,76 metros. La mesana, por su parte, sólo dispone de un piso de crucetas, un par de obenques altos, dos pares de diagonales y un par de *backstays*.



**Figura 7-1 Jarcia firme del velero Barcelona**

La quilla semicorrida ofrece una elevada estabilidad y una buena navegabilidad con fuerte mar. En el interior de la quilla se ubica un lastre de plomo. El motor está situado sobre la quilla para conseguir una concentración de pesos. El barco dispone de depósitos de agua para 700 litros y de gasoil para 500 litros. Se trata de un barco pesado con mucho volumen.

El timón se encuentra retardado para conseguir una mayor maniobrabilidad.

En cubierta dispone de un par de escoteros de génova, uno por banda. De la intersección del anclaje del *stay* con la cubierta al principio del carril del escotero hay 5,90 metros y hasta el final 8,75 metros, por lo que los escoteros miden 2,85 metros. El punto más a proa del escotero se encuentra a 1,60 metros de la línea de crujía y el punto más a popa a 1,55 metros.



**Figura 7-2 Escotero del velero Barcelona**

La jarcia de labor actual cuenta con una serie de escotas y drizas de poliéster desgastadas como consecuencia de una larga exposición al sol y de su vida útil.



**Figura 7-3 Fognadura del mástil y jarcia de labor del velero Barcelona**

En cuanto a las velas, el Barcelona dispone de una mayor, un génova y una vela de mesana. Se trata de tres velas de Dacron que no se encuentran en muy buen estado, están deformadas y algo quemadas por el sol. Además los refuerzos de las velas, como los ollaos se han oxidado,

repercutiendo en las velas. Algunos de los patines de la vela mayor están rotos, lo que significa que no está bien repartida la carga entre los patines.

### **7.2.2 PROGRAMA DE NAVEGACIÓN**

Al analizar la zona en la que navegaría el barco, el litoral de la costa catalana, se concluye que es una zona en la que, normalmente los vientos son ligeros y medios. Los vientos dominantes en verano son de S o SW, Migjorn o Garbí y del NE, Gregal y en invierno de N, Tramontana, y de NO, Mistral. Otro tipo de viento muy común en esta zona, es el viento térmico. Se trata de un viento de intensidad media, es decir entre fuerza 3 y fuerza 5, causado por la diferencia de temperatura que hay entre la tierra y el agua del mar. Durante el día, el sol calienta antes la tierra que el mar, por lo que, el aire una vez caliente asciende, por convección, lo que hará que el aire más frío del mar se desplace hacia la costa para ocupar el sitio del aire caliente que ha ascendido. Su máxima potencia se alcanza cuando el sol calienta más, entre las 14 y las 16 horas. Al atardecer, va bajando de intensidad hasta desaparecer.

En principio en una costa rectilínea y en ausencia de viento general, la brisa térmica empieza a soplar perpendicularmente a la costa, es decir de mar, y se va desviando a la derecha a lo largo del día. Se dice que el térmico rola con el sol. Es decir que va variando su dirección siguiendo al sol. Empieza por la mañana soplando del Este y va girando a Sur y Oeste a medida que va transcurriendo el día. En la costa litoral de Barcelona y alrededores el viento térmico se refuerza por el calor producido por la actividad dentro de los núcleos urbanos.

La primavera por la diferencia de temperatura entre el mar y la tierra es el mejor período para la aparición de térmicos. El mar está todavía frío del invierno y el sol primaveral calienta rápido la tierra. En verano también se forman ya que sigue existiendo esta diferencia de temperatura, aunque no tan acusada.

Es una zona en la que normalmente no hay olas, y cuando las hay, son de periodo corto. Como el viento térmico es un viento del momento, la ola que genera es una ola corta que desaparece cuando el viento deja de soplar. Para la navegación en este tipo de condiciones, navega mejor un barco con una configuración más deportiva.

Las aguas en las que normalmente navega el Barcelona, pertenecen a una zona en la que frecuentemente se disputan regatas de distintos niveles de competición. Con todo esto, y siendo que la Facultad de Náutica dispone de un considerable número de alumnos a los que les gusta navegar, el Barcelona podría ampliar su programa de navegación, aumentando el número de salidas de crucero y iniciándose en una navegación de crucero más deportiva, como pueden ser las regatas de los alrededores del puerto de Barcelona.

### **7.2.3 PRESUPUESTO**

En este proyecto el presupuesto no supone ninguna limitación ya que se trata simplemente de una propuesta libre, de optimización y actualización del velero escuela Barcelona.

### 7.3 MEDICIONES

Una vez planteado el proyecto, se procede a las mediciones de las partes principales del barco y su jarcia.

Las principales medidas del aparejo actual del barco que se han tomado han sido la P y la E de la mayor, la PY y la EY de la mesana. Del génova se han tomado las medidas de IG y de J a través de las cuáles se ha calculado el JL y la LPG con un porcentaje de solapamiento del 160%. De la botavara se ha medido su altura respecto la cubierta BAS y la altura de la propia BD. Del mástil se ha medido la longitud proa-popa y la anchura babor-estribor.

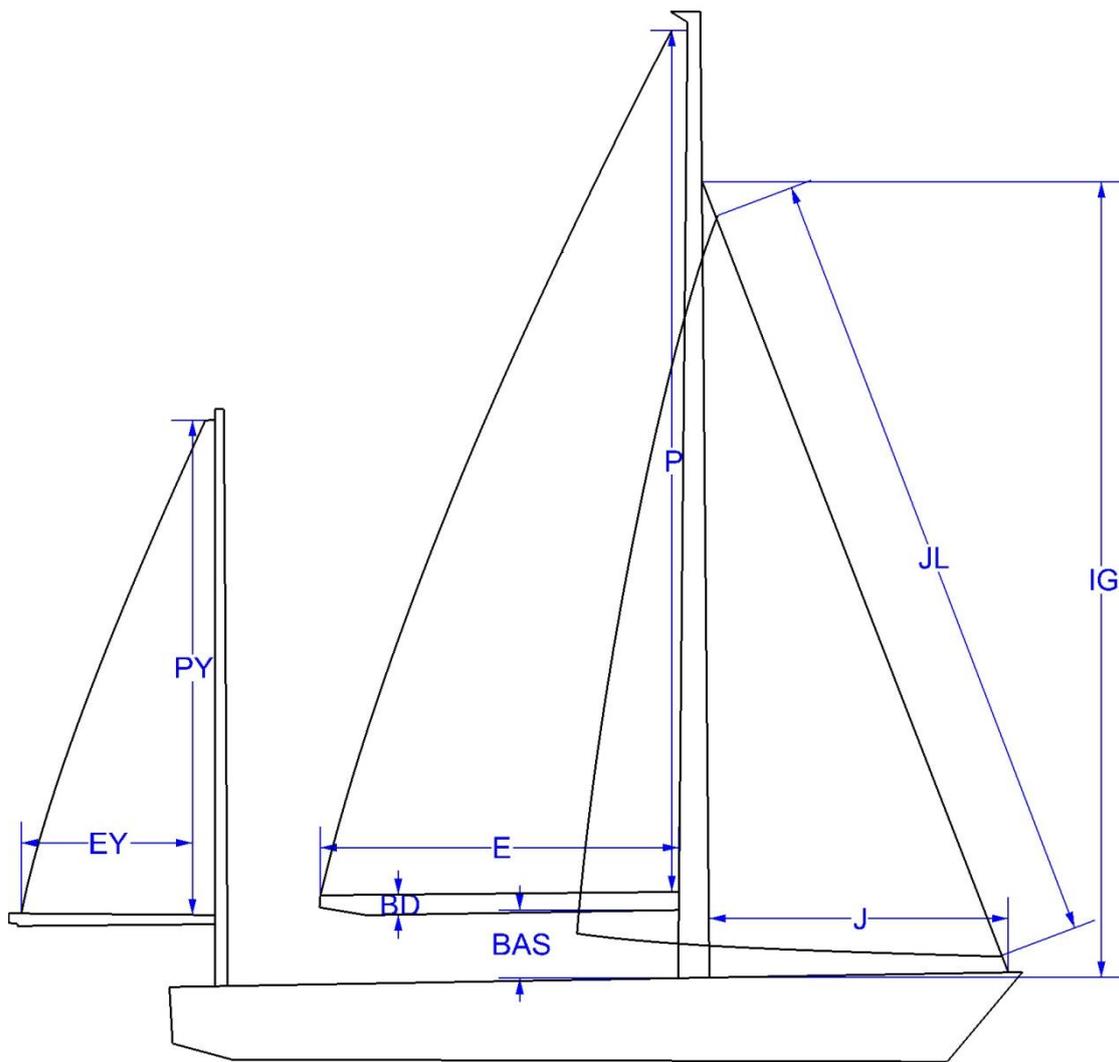


Figura 7-4 Esquema de las principales medidas

MAYOR		
<b>P</b>	13,85	m
<b>E</b>	4,05	m
<b>BAS</b>	1,6	m
<b>BD</b>	0,2	m

GÉNOVA		
<b>IG</b>	15,40	m
<b>J</b>	4,94	m
<b>JL</b>	15,53	m
<b>LPG</b>	7,90	m

MESANA		
<b>PY</b>	8,85	m
<b>EY</b>	2,55	m
<b>BASY</b>	1,5	m
<b>BDY</b>	0,15	m

MÁSTIL		
<b>PR-PP</b>	0,27	m
<b>BR-ER</b>	0,17	m

Gracias a estas medidas tomadas se puede conocer cuál es la altura total del mástil y del palo de mesana teniendo en cuenta que su altura es la suma de la P, del BAS y de 0,05 metros de los cuales dispone el mástil por la parte superior. El mástil actual mide 15,5 metros de altura y el de mesana, 10,4 metros.

### 7.3.1 CÁLCULO DE ÁREAS

A través de las medidas obtenidas se ha llevado a cabo un cálculo de áreas para conocer cuál es la superficie vélica actual. Para el cálculo del área de la mayor se pueden utilizar distintas fórmulas en función del tipo de vela que se trate, distinguiendo entre una mayor de regata o una de crucero. En el caso de una mayor de crucero la fórmula a utilizar es la siguiente:

$$\text{Área de la Mayor} = 0,56 \cdot P \cdot E$$

MAYOR	
<b>P</b>	13,85 m
<b>E</b>	4,05 m
<b>ÁREA</b>	<b>31,41 m<sup>2</sup></b>

El factor por el que se multiplican la P y la E puede variar entre el 0,53 y el 0,62, en función de la forma que tenga la mayor. En el caso del Barcelona, se trata de una mayor estrecha por lo que el factor utilizado ha sido 0,56. Se trata de una fórmula muy parecida a la del cálculo del área de un triángulo. Para el cálculo de la mesana se utiliza la misma fórmula, ya que la forma de las velas es similar.

MESANA	
<b>PY</b>	8,8 m
<b>EY</b>	2,6 m
<b>ÁREA</b>	<b>12,81 m<sup>2</sup></b>

El cálculo del área del génova es también parecida a la del área del triángulo, siendo la base la longitud del grátil y la altura la perpendicular del puño de escota.

$$\text{Área del Génova} = 0,53 \cdot JL \cdot LPG$$

Para el cálculo de la longitud del grátil se utiliza el teorema de Pitágoras aunque se le aplica un factor corrector, que puede variar en función de si el stay dispone o no de enrollador.

$$JL = 0,96 \cdot \sqrt{I^2 + J^2}$$

Para el cálculo de la perpendicular del puño de escota se utiliza la relación establecida entre la misma y el porcentaje de solapamiento del génova siendo ésta:

$$\% \text{ de solapamiento} = \frac{LPG}{J} \cdot 100$$

Por lo que:

$$LPG = J \cdot \% \text{ de solapamiento}$$

Las velas de proa se clasifican según el porcentaje de solapamiento. El foque es menor que el triángulo de proa, formado por el palo, la cubierta y el stay. El génova es mayor, la baluma pasa del palo y se superpone a la vela mayor. Un génova 150% tendría el LPG un 50% mayor que la longitud del triángulo de proa J. El porcentaje de solapamiento del génova actual del Barcelona es 160% que es el original de los Belliure 40 al salir del astillero. Actualmente los veleros son diseñados con velas mayores más grandes y génovas con entre 135% y 140% de solapamiento. Los foques se definen también por la misma forma, con superposiciones de 110% o menores.

GÉNOVA		
<b>IG</b>	15,40	m
<b>J</b>	4,94	m
<b>JL</b>	15,53	m
<b>LPG</b>	7,90	m
<b>ÁREA</b>	<b>65,04</b>	<b>m<sup>2</sup></b>

La superficie vélica total del Barcelona, sumando la de la mayor, la del génova y la de la mesana es de 109,26 m<sup>2</sup>.

ÁREAS		
<b>MAYOR</b>	31,41	m <sup>2</sup>
<b>GÉNOVA</b>	65,04	m <sup>2</sup>
<b>MESANA</b>	12,81	m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>109,26</b>	<b>m<sup>2</sup></b>

### 7.3.1 CÁLCULO DEL CENTRO VÉLICO

Anteriormente ya se ha explicado que es el centro vélico, el punto de aplicación de la resultante de las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre la vela y se puede hallar a través de un procedimiento gráfico.

Sobre un plano de la mayor, el foque, y en este caso, la mesana, se trazan en cada triángulo las medianas, rectas que van de los ángulos hasta la mitad del lado opuesto. Los puntos en los cuales se cruzan las medianas respectivas de cada triángulo o vela son los teóricos centros vélicos de la mayor (CVM), del génova (CVJ) y de la mesana (CVY).

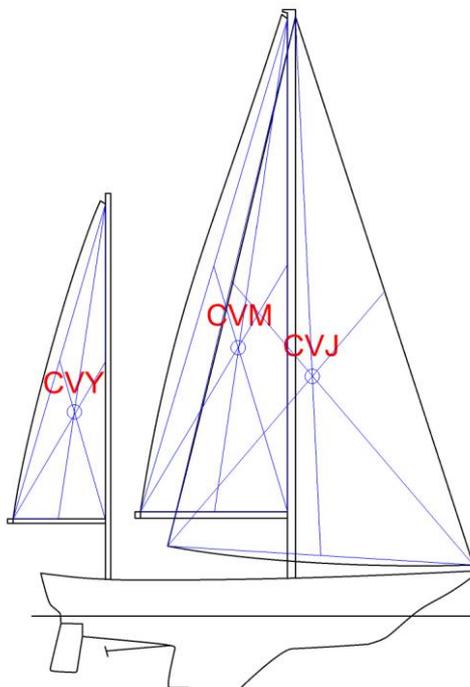
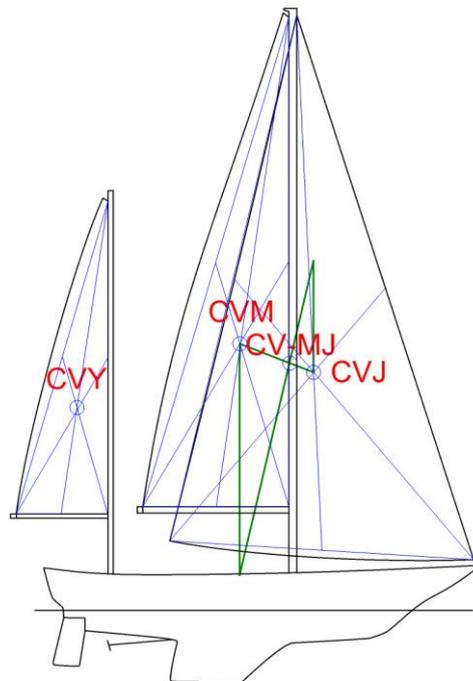


Figura 7-5 Centros vélicos de la mayor, del génova y de la mesana

Para calcular el centro vélico total es necesario calcular primero un total de la mayor y el génova.

Para ello, se traza una recta que una sus dos centros vélicos y se sitúan dos vectores proporcionales al área de ambos, el de la mayor, sobre el centro vélico del génova (CVJ), hacia arriba y el del génova, sobre el centro vélico de la mayor, hacia abajo. Los vectores trazados deben ser respetar la misma relación respecto al área de cada una de las velas. Para este cálculo concreto se ha utilizado una décima parte del valor del área correspondiente.

Finalmente, se traza una recta entre los extremos finales de los vectores. El centro vélico total de ambas velas (CV-MJ) coincide con el punto en el que se encuentran la recta que une los extremos de los vectores y la que une CVM con CVJ. Siempre que mantengan la misma relación de proporcionalidad entre los vectores y las áreas, las rectas se cruzarán en el mismo punto.



**Figura 7-6 Centro vélico del conjunto de la mayor y del génova**

Para el cálculo del centro vélico total se ha procedido de forma similar, aunque considerando el conjunto mayor-génova como una sola vela con centro vélico situado en CV-MJ y con un área equivalente a la suma de la de la mayor y la del génova.

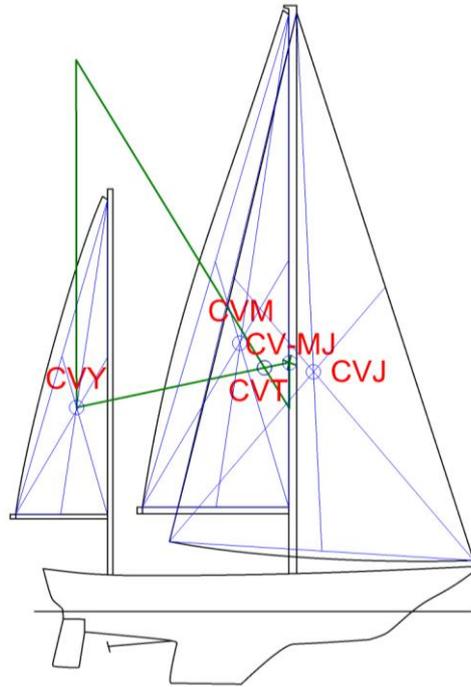


Figura 7-7 Centro vélico total actual del velero Barcelona

## 7.4 PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN

El proyecto aporta una actualización y una optimización del barco que permitiría aumentar el tipo de usos que se le da, además de la navegación de crucero, también podría usarse para navegación deportiva de competición, adecuada a un nivel de iniciación de la tripulación.

Para realizar un diseño del velamen el primer paso ha sido plantear el proyecto. Tras analizar cuáles son las características actuales del barco así como el programa de navegación y el presupuesto se ha llegado a la conclusión de cuáles son los cambios que se deben realizar para llevar a cabo el proyecto. El orden del procedimiento de actualización es el siguiente:

- Eliminar el palo de mesana.
- Diseño de un nuevo plano vélico.
- Diseño e instalación de una nueva jarcia.

### 7.4.1 ELIMINACIÓN DEL PALO DE MESANA

En un *ketch* el propósito principal de la vela de mesana es ayudar a propulsar el buque durante largas navegaciones, siendo de ayuda a la velocidad en rumbos portantes y contraproducente en las ceñidas. Como actualmente el objetivo del barco no son largos recorridos la mesana no desempeña su función, por lo que dicha vela deja de ser necesaria.

Eliminándola y sustituyendo este tipo de aparejo por uno *sloop*, de un solo palo, con un aparejo a tope de palo, como el actual, se actualizaría el barco y se mejoraría la navegación en rumbos de ceñida, en los cuales la mesana es contraproducente.

Para eliminarla, es necesario proceder a la desarmoladura del palo de mesana y la eliminación del equipamiento de acastillaje y los anclajes.

El precio aproximado de tales tareas es de 6000 euros.

La eliminación del palo de mesana conlleva también la desaparición de la vela de mesana, por lo que con la disposición actual de la jarcia, se pierden 12,81 m<sup>2</sup> de la área, siendo la nueva superficie vélica total 96,45 m<sup>2</sup>.

#### **7.4.2 DISEÑO DEL PLANO VÉLICO**

##### **7.4.2 DETERMINACIÓN DE LAS NUEVAS MEDIDAS**

Con la eliminación del palo de mesana se pierde la vela de mesana y por tanto se reduce la superficie vélica total. El objetivo del diseño del nuevo plano vélico es compensar la pérdida de la superficie vélica de la mesana, repartiéndola entre la vela mayor y el génova, manteniendo así la relación peso superficie vélica. Este aumento en la superficie de las velas puede llevarse a cabo modificando la altura del palo y por tanto, la P y la IG, y la longitud de la botavara que afecta a la E.

Otro de los cambios que presenta el nuevo plano vélico es que el nuevo génova es enrollable con el objetivo de facilitar la maniobrabilidad del mismo.

Un génova con enrollador tiene un poco menos de superficie ya que no puede ocupar el espacio total del triángulo de proa debido a los anclajes necesarios para el enrollador. Este dato ha de tenerse en cuenta al calcular la nueva área.

En el cálculo del triángulo de proa el factor es 0,95 en vez de 0,96 debido a las pérdidas de superficie causadas por los anclajes del enrollador. La nueva área del génova, ahora enrollable sería de 64,36 m<sup>2</sup>, siendo la nueva área total de 95,77 m<sup>2</sup>.

El porcentaje de solapamiento se calcula a través de la relación entre la perpendicular del puño de escota y la longitud del triángulo de proa amura.

$$\% \text{ de solapamiento} = \frac{LPG}{J} \cdot 100$$

El génova actual del Barcelona tiene un solapamiento de 160 %, que es el que tenía de diseño. Con el paso de los años, en general, el diseño de los nuevos aparejos ha tendido a ir hacia un aumento de la superficie de las velas mayores y una disminución de las velas de proa para mejorar la maniobrabilidad. Los porcentajes de solapamiento de los nuevos diseños de las velas de proa en la mayoría de los casos son 135 o 140 %. En el caso del Barcelona, al ser un barco pesado, el porcentaje de solapamiento no debe ser tan reducido, un buen porcentaje sería 145 %.

Para su cálculo, no sólo se debe tener en cuenta la decisión de querer un génova de más o menos solapamiento, sino también cuál es la posición de los escoters del génova. Para que el génova pueda cazarse a través del escotero se debe poder trazar una línea desde el punto medio del gratil situado en el 50 % del JL, pasando por el puño de escota hasta un punto

situado de forma aproximada en el medio del carril del escotero. Unos escoteros retrasados dificulta el poder hacer velas cortas, aunque también influye la altura del puño de escota. Para que el génova y el escotero puedan trabajar bien, la escota debe cazarse aproximadamente en la dirección de la bisectriz del puño de escota, es decir del ángulo formado entre el pujamen y la baluma.

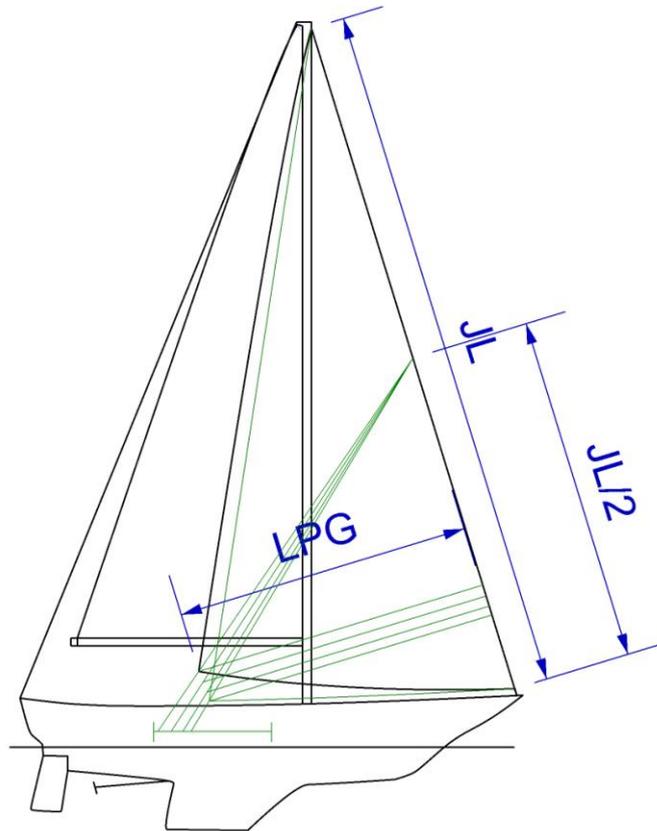


Figura 7-8 Esquema de comprobación de los escoteros y el porcentaje de solapamiento

Tras realizar un esquema a escala, teniendo en cuenta las medidas tomadas con anterioridad, se ha comprobado que un génova con un solapamiento de 145% se podría cazar bien ya que no presenta problemas con los escoteros del génova.

En caso de esta reducción del porcentaje de solapamiento las áreas serían:

ÁREAS	
MAYOR	31,41 m <sup>2</sup>
GÉNOVA	58,33 m <sup>2</sup>
TOTAL	<b>89,74 m<sup>2</sup></b>

El tipo de diseño con un porcentaje de solapamiento menor se combina con un aumento de la superficie de la vela mayor. La forma general de este tipo de velas cuenta con unas cadenas más largas y con un mayor alunamiento, lo que lleva a aumentar el factor a tener en cuenta en el cálculo de su área.

El nuevo factor para el cálculo de la superficie de la mayor es 0,59, la modificación que produce en las áreas es la siguiente:

ÁREAS	
<b>MAYOR</b>	33,09 m <sup>2</sup>
<b>GÉNOVA</b>	58,33 m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>91,42 m<sup>2</sup></b>

Para determinar el aumento del área de la mayor se ha realizado un estudio comparativo de embarcaciones similares al Barcelona, diseñadas desde el año 79 hasta la actualidad. Se ha observado cuál ha sido la evolución del aparejo, desde aparejos pequeños como el del Barcelona hasta aparejos mayores como el de un Sinergia 40 con una P de 16,26 m y una E de 5,38 m. En el estudio comparativo se han incluido tanto barcos de crucero como un Bavaria 40 Cruiser, de crucero regata como un First 41.5s, como de regata, un Sinergia 40. Otros de los barcos también incluidos en el estudio han sido: Comet 41, Firt 40.7, Swan 402, Farr 40, Bavaria 40 o Furia 392 entre otros.

Se han estudiado las medidas principales de la mayor, la P y la E, así como la relación entre ambas estableciendo el cociente  $\frac{P}{E}$ .

Se ha concluido que el aumento del área de la mayor debe llevarse a cabo mediante un mayor alargamiento de la botavara, aumentando la E, para aprovechar el espacio cedido por la mesana, coincidiendo además con la evolución del diseño de los aparejos. La altura del mástil también se ha aumentado, aunque con una limitación, no aumentarla más de 1 metro, ya que el mástil tiene una altura considerable. Este aumento afecta tanto a la P como a la IG y por tanto, al área de la mayor y a la del génova.

Teniendo en cuenta la limitación en la altura del mástil, el rango en el que debe estar la relación entre la P y la E y con el objetivo de alcanzar la superficie vélica actual de la que dispone el Barcelona, la botavara debe aumentarse 1,4 metros, siendo entonces las nuevas medidas principales del plano vélico las siguientes:

MAYOR	
<b>P</b>	14,85 m
<b>E</b>	5,45 m
<b>ÁREA</b>	<b>47,75 m<sup>2</sup></b>

GÉNOVA	
<b>IG</b>	16,40 m
<b>J</b>	4,94 m
<b>JL</b>	16,27 m
<b>LPG</b>	7,16 m
<b>ÁREA</b>	<b>61,77 m<sup>2</sup></b>

ÁREAS	
<b>MAYOR</b>	47,75 m <sup>2</sup>
<b>GÉNOVA</b>	61,77 m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>109,52 m<sup>2</sup></b>

Una vez obtenido el resultado se ha comprobado que se encuentra dentro del rango establecido por el estudio comparativo. En este caso la relación  $\frac{P}{E}$  es 2,72, y como se puede ver con más detalle en el Anexo 1, la mayoría de las relaciones se encuentra entre el 2,70 y el 2,90.

Con estas nuevas magnitudes se iguala la superficie vélica calculada, con una vela mayor y un génova, a la que dispone actualmente el Barcelona, que dispone de mayor, génova y mesana, manteniendo una relación proporcional entre la altura del mástil y la longitud de la botavara y dentro del rango establecido.

#### 7.4.2.2 CÁLCULO DEL NUEVO CENTRO VÉLICO

Una vez establecido las medidas principales del nuevo plano vélico se calcula el centro vélico. Para ello, es necesario el cálculo del centro vélico de la mayor y del génova por separado y posteriormente el total a través de un procedimiento gráfico.

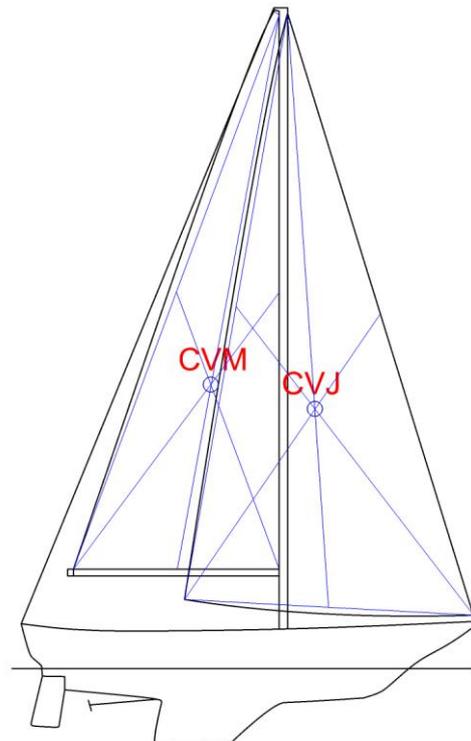


Figura 7-9 Centro vélico de la nueva mayor y del nuevo génova

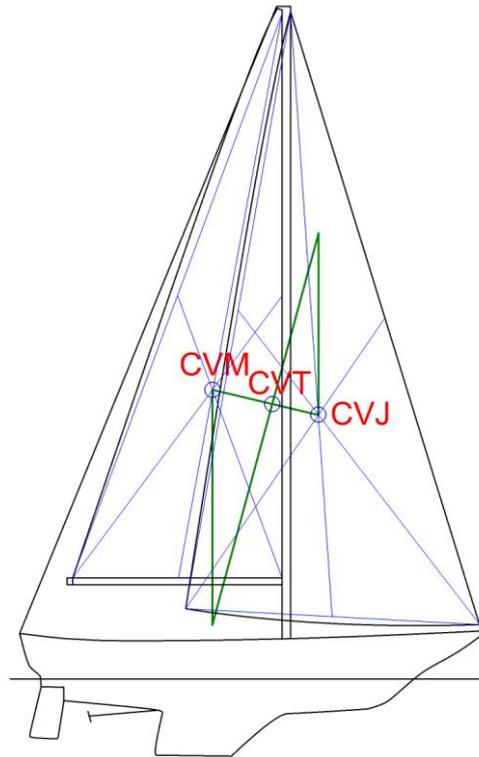


Figura 7-10 Centro vélico total de las nuevas velas

Al comparar el centro vélico del nuevo plano vélico con el actual se puede comprobar que el actual se encuentra más retrasado, debido al efecto del centro vélico de la mesana. El centro vélico del nuevo plano vélico se encuentra situado muy cercano al grátil en la parte superior de la mitad inferior, una situación muy parecida a la mayoría de los centros vélicos de veleros similares.

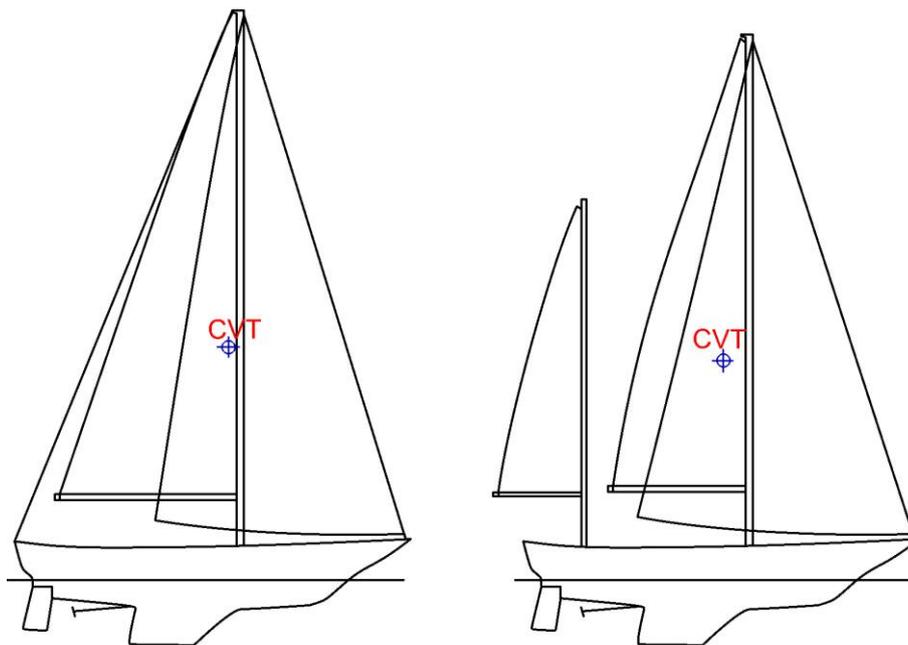


Figura 7-11 Comparación entre el nuevo centro vélico y el actual

#### 7.4.2.3 PROPUESTA DE DISEÑO Y CONFECCIÓN DE LAS NUEVAS VELAS

El diseño más adecuado para estas velas es un diseño de disposición de paños de corte tri-radial. El tipo de disposición de las fibras es laminado con *taffeta* a cada lado para aumentar su resistencia frente a los rayos UV. El material elegido de acuerdo con el tipo de velas a confeccionar es el poliéster.

La unión de los distintos puños se recomienda realizar mediante costuras, reforzadas por adhesivos de doble cara para evitar que haya movimiento entre los paños mientras se está realizando la costura. Lo cual además aporta una mayor resistencia. Este tipo de unión presenta facilidades si fuera necesario realizar una reparación.

#### 7.4.3 DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA NUEVA JARCIA

El diseño de la nueva jarcia mantiene el aparejo a tope de palo aunque cambia el tipo de aparejo, se propone un nuevo aparejo *sloop*, de un solo palo. El material elegido para el nuevo mástil, la botavara y las crucetas es aluminio, relativamente ligero y resistente. Para el resto de jarcia firme, se ha elegido cable de acero inoxidable.

Para compensar la pérdida de superficie debida a la eliminación de la mesana la longitud de mástil y botavara aumenta. El nuevo aparejo cuenta con un palo con una altura total de 16,5 metros de altura, 1 metro más que el actual, que se añade por la parte superior. El cálculo de la altura se ha realizado sumando la nueva P, la misma BAS y 0,05 metros de los que dispone el mástil por la parte superior. Mantiene los dos pisos de crucetas en la misma altura que las actuales. El primer piso se encuentra a 5,53 m desde la fogonadura del palo, y el segundo a 10,63 m.

La nueva longitud de la botavara es 5,65 metros, la nueva E, 5,45 metros más 0,2 metros del extremo de la botavara que no forman parte de la E.

Los elementos de sujeción del palo se mantienen, aunque el nuevo *stay* tiene perfil de enrollador, y además, se añade un *backstay*. Por lo que será necesario añadir un nuevo anclaje en popa. Las burdas deben mantenerse ya que la disposición de las crucetas sigue siendo en ángulo recto.

Antes de la colocación del palo, la jarcia firme y de labor debe ser instalada. Los obenques, *stay* de proa, obenquillos, burdas y *backstay* están fijos por el extremo del palo. Una grúa será la encargada de pinchar el palo. Para ello, es necesaria la colocación de una braga entre la primera y la segunda cruceta. El palo, que al principio se encuentra en posición horizontal, es elevado y enderezado lentamente. Una vez en posición vertical, el mástil es apoyado sobre la fogonadura del palo, con la orientación adecuada (*stay* a proa). El primer elemento a fijar es el *stay*, después se sigue con los obenques de un lado y se les da algunas vueltas, se sigue con el mismo número de vueltas al otro lado y así sucesivamente hasta que el palo ya está bien sujetado y la grúa ya no es necesaria para aguantarlo. Los últimos elementos de sujeción en ser fijados son los de popa, en el caso del Barcelona, las burdas y el *backstay*. Una vez colocado e instalado el mástil, se coloca la botavara.

Las empresas que se encargan de este tipo de trabajos proporcionan e instalan la nueva jarcia, incluyendo la nueva cabuyería, y los elementos electrónicos necesarios. El nuevo mástil es instalado con las luces necesarias: de fondeo, de posición, de motor, etc. Con todos los cables necesarios dispuestos en su interior. También se encargan del ajuste y trimado del palo, dando la tensión adecuada a cada uno de los elementos de la jarcia.

La nueva jarcia de labor está compuesta por una driza de mayor, una de génova y una de respecto, dos escotas de génova, una escota de mayor y una escota para el carro. El material de la nueva cabuyería es Dyneema.

El precio estimado para la realización de estos trabajos es de entre 20.000 y 25.000 euros. En él, se incluyen el nuevo mástil, la nueva jarcia y la cabuyería. Los precios estimados son generales totales sin especificar por motivos de confidencialidad.

Para la instalación del nuevo *stay*, primero es necesario extraer el antiguo. En este caso el nuevo tiene perfil de enrollador por lo que el tipo de anclajes será distinto a los actuales y será necesario extraerlos todos. Además, el nuevo *stay* tiene más longitud, ya que la altura del nuevo palo también es mayor. Se estima un precio aproximado de 3500 euros para la realización de los trabajos del *stay*.

### 7.4.3 PRESUPUESTO FINAL DEL PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN

Los precios detallados a continuación son aproximados sin especificar por motivos de confidencialidad.

#### A. JARCIA

##### A.1 Eliminación del palo de mesana

Desarboladura del palo de mesana y eliminación del equipamiento de acastillaje y los anclajes.

**Total : 6.000,00 €**

##### A.2 Instalación de una nueva jarcia

###### A.2.1 Suministración y colocación de:

Un palo con una altura total de 16,5 metros de aluminio

Una botavara de 5,65 metros de aluminio

Dos pisos de crucetas de aluminio a 5,53 m y 10,63 m, respectivamente, desde la fognadura del palo.

Los elementos electrónicos necesarios y las luces.

Nueva jarcia de labor de Dyneema (una driza de mayor, una de génova y una de respecto, dos escotas de génova, una escota de mayor y una escota para el carro).

###### A.2.2 Ajuste y trimado de la jarcia.

**Total : 22.500,00 €**

##### A.3 Instalación del nuevo stay

Extracción del stay actual y sus anclajes. Suministración e instalación de un stay nuevo, de más longitud, con perfil de enrollador .

**Total : 3.500,00 €**

**TOTAL JARCIA 32.000,00 €**

#### B. MAYOR Y GÉNOVA

##### B.1 Diseño de vela mayor y génova

Vela mayor. Génova enrollable con un porcentaje de solapamiento de 145 % con un diseño de disposición de paños de corte tri-radial. El tipo de disposición de las fibras es laminado de poliéster con *taffeta* a cada lado. La unión de los distintos paños se realizará mediante costuras, reforzadas por adhesivos de doble cara.

**Total : 8.500,00 €**

**TOTAL MAYOR Y GÉNOVA 8.500,00 €**

**TOTAL PRESUPUESTO 40.500,00 €**

## **CAPÍTULO 8. CONCLUSIÓN**

El objetivo final del proyecto ha sido realizar el diseño de un nuevo plano vélico con la finalidad de actualizar, optimizar y aumentar el tipo de usos del velero Barcelona, un Belliure 40' que pertenece a la Facultat de Nàutica de Barcelona. Para poder proceder al estudio del plano vélico, ha sido necesario realizar un estudio de los elementos que influyen en el funcionamiento, composición, diseño y confección de las velas.

### **FUNCIONAMIENTO**

La física es la encargada de dar explicación al fenómeno de la navegación a vela. El aire y el agua son los dos fluidos que intervienen en él, de los cuales se han estudiado sus características y comportamientos principales. La fuerza que permite a los veleros avanzar se genera debido a una diferencia de presiones, causada como consecuencia de una diferencia de velocidad entre el aire de barlovento y sotavento de una vela.

La vela se encarga de recibir el viento y proporcionar la fuerza de propulsión al velero. El conjunto de mecanismos que contribuyen a la propulsión del barco se define como la jarcia y las características que se buscan en ella son delgadez, ligereza y resistencia.

### **COMPOSICIÓN**

El diseño, la construcción y los materiales de la jarcia y las velas han cambiado a lo largo del siglo XX. El objetivo del diseñador y fabricante ha sido encontrar un compromiso entre los objetivos para el desarrollo de la tecnología (fiabilidad, ligereza, precio, manejabilidad y eficiencia) con los materiales y la tecnología disponible.

En cuanto a la jarcia, para las perchas se utiliza la madera, el aluminio o el carbono. La primera se utiliza de forma exclusiva para las embarcaciones de madera y el carbono en el alto rendimiento. Se utilizan tres tipos de disposiciones para la jarcia firme: cable de acero inoxidable, varilla o textil. Para la jarcia de labor se utiliza poliéster, poliamidas y otros materiales más punteros, como Kevlar o Dyneema.

Las velas se fabrican con distintos materiales en función del uso de las mismas. Las principales fibras utilizadas para ello son el poliéster: Dacron, Mylar, Pentex y Vectran; la poliamida: Nylon; la aramida: Kevlar, Technora y Twaron; el polietileno: Spectra o Dyneema y Cectran; el Polibenzimidazol o PBO; y el carbono.

El análisis general de las distintas fibras, en función de las características más representativas (módulo inicial, tenacidad, pérdida de flexibilidad, resistencia a los rayos UV y elongación sobre el porcentaje de rotura) ha llevado a concluir que las fibras con mejores prestaciones son el Spectra o Dyneema y el Carbono. El Kevlar o el PBO también tienen muy buenas características. Las aramidas tienen más usos en el campo de la competición y el poliéster en el del crucero. La fibra de poliamida es el material más elástico, con mayor resistencia a las cargas de impacto y el que presenta mayor elongación sobre el porcentaje de rotura, por lo que es el material idóneo para la confección de las velas para vientos portantes.

La disposición de las fibras puede ser tejida, formada por dos capas de hilos entrecruzados, o laminada, compuesta de múltiples capas en las que los hilos se encuentran dispuestos en distintas direcciones, encolados entre sí. El laminado es más ligero y sus prestaciones son iguales o mejores que las de un tejido.

## DISEÑO

Para diseñar el mejor perfil es necesario llevar a cabo un planteamiento del proyecto: determinar cuáles son las características del barco, cual va a ser el programa de navegación, y el presupuesto destinado al proyecto.

Para poder llevar a cabo el diseño de las velas es necesario facilitar a la velería algunas de las medidas principales del aparejo y de las velas. El diseñador está en contacto con el navegante, quien aporta toda la información necesaria para realizar mejoras y para establecer las directrices que deberá seguir la velería.

El diseño empieza con la proyección del aparejo, que se realiza a través de las mediciones específicas del barco. Según el programa de navegación que se haya determinado para el velero, se establecerán las pautas básicas para el diseño de un tipo de vela, distinguiendo entre una vela para crucero, para regata o para una finalidad concreta. Según las características del barco, se determinará la forma de la vela a través de la profundidad de la bolsa, su posición, en sentido tanto horizontal como vertical, el ángulo de entrada y el ángulo de salida. La última fase es el diseño para la fabricación que depende del tipo de disposición estructural.

## CONFECCIÓN

En función del tipo de material elegido para el proyecto se determina la tecnología de elaboración de la vela, teniendo en cuenta las curvas que forman las líneas de carga entre los puños de la vela. Existen distintos tipos de disposiciones así como distintos tipos de sistemas de unión. El tipo de disposición más utilizado es la disposición de paños, que tiene distintas variantes. Otros sistemas más desarrollados pero menos utilizados son las membranas estructurales, conocidas generalmente como 3DL o membranas en secciones, y el *Tape-Drive*.

## VELERO BARCELONA

Como parte práctica del proyecto en la que se han aplicado los conceptos principales analizados, se ha llevado a cabo un proyecto de optimización y actualización del velero Barcelona.

Como características generales del velero, destaca su gran manga, su alta y potente jarcia que cuenta con un mástil y una mesana de aluminio sujetos por jarcia de cable de acero inoxidable. En cuanto a las velas, el Barcelona dispone de una mayor, un génova y una vela de mesana deformadas y algo quemadas por el sol, con oxidaciones en los refuerzos.

El programa de navegación actual del Barcelona es realizar salidas con los alumnos y algunas prácticas. Se ha analizado la zona de navegación del barco, una zona en la que predominan los vientos ligeros y medios, y el viento térmico y en la que se disputan regatas de distintos niveles

de competición. Siendo que la Facultad de Náutica dispone de un considerable número de alumnos a los que les gusta navegar, se ha propuesto una ampliación del programa de navegación del Barcelona, aumentando el número de salidas de crucero e iniciándose en una navegación de crucero más deportiva, como pueden ser las regatas de los alrededores del puerto de Barcelona.

En este proyecto, no ha sido necesario estudiar el presupuesto destinado al mismo, ya que al tratarse de una propuesta libre no ha supuesto ninguna limitación.

Una vez planteado el proyecto, se ha realizado una medición de las partes principales de la jarcia y las velas actuales del Barcelona, a través de las cuáles se ha realizado el cálculo de la superficie vélica total actual y su centro vélico.

Una vez analizada toda la información obtenida, se ha tomado la decisión de eliminar el palo de mesana, realizar el diseño de un nuevo plano y de una nueva jarcia.

El motivo para eliminar el palo de mesana ha sido que el propósito de la vela, ayudar a la propulsión de un velero durante largas navegaciones en rumbos portantes, no coincide con el objetivo actual del barco. Eliminándola y sustituyendo el aparejo actual por uno *sloop*, también aparejado a tope de palo, se actualizaría el barco y se mejoraría la navegación en rumbos de ceñida. El hecho de eliminar el palo de mesana conlleva la pérdida de la vela mesana que supone una reducción de la superficie vélica.

El objetivo del diseño del nuevo plano vélico ha sido compensar la pérdida del área de la vela mesana, aumentando la superficie de la vela mayor y el génova, y facilitar la maniobrabilidad del génova.

Para mejorar la maniobrabilidad del génova, se ha propuesto que el nuevo génova sea enrollable y con un porcentaje de solapamiento menor al actual, lo que también ha reducido el área vélica. Con el objetivo de alcanzar la superficie actual del Barcelona, aunque en esta ocasión con sólo dos velas, se han estudiado las dos medidas principales de la vela mayor (la P y la E), y la relación entre ambas de veleros de tamaño similar al Barcelona. La determinación de las medidas del nuevo plano vélico se ha realizado con la limitación de no aumentar la altura del palo más de un metro, debido a la altura considerable del mástil actual. El resultado obtenido ha sido un aumento del mástil de 1 metro y un aumento de la botavara de 1,4 metros, con lo que se ha conseguido igualar la superficie vélica calculada a la actual.

Una vez obtenidas las medidas principales del nuevo plano vélico se ha calculado su centro vélico, situado prácticamente sobre el grátil y en la parte superior de la mitad inferior.

En cuanto al diseño y confección de las nuevas velas, se ha propuesto un diseño de disposición de paños de corte tri-radial de laminado de fibra de poliéster con *taffeta* a cada lado con los paños unidos mediante costuras reforzadas con adhesivos de doble cara.

Para el diseño de la nueva jarcia se ha mantenido el aparejo a tope de palo, aunque con aparejo *sloop*. El nuevo aparejo cuenta con un palo con una altura total de 16,5 metros, que mantiene los elementos de sujeción y los dos pisos de crucetas en la misma altura, y una

botavara de 5,65 metros. A los elementos de sujeción se añadiría un *backstay* y el *stay* fijo se sustituiría por uno con perfil de enrollador.

Los materiales elegidos han sido aluminio para el nuevo mástil, la botavara y las crucetas; cable de acero inoxidable para el resto de jarcia firme y Dyneema para la jarcia de labor.

Con todo ello se conseguiría la adaptación de un velero clásico a un velero para una navegación de crucero *performance*, con un aparejo actualizado y polivalente, con una mejora en la maniobrabilidad del génova y todo ello, sin perder superficie vélica.

## CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFIA

### LIBROS

Cheret, B. (2008). *Las velas: Comprensión, trimado y optimización (3ª ed)* Barcelona: Juventud.

Glénans (1993). *El Nuevo curso técnico de Glénans (1ª ed)* Tutot S.A.

Tió, Toni (1981). *Noth U, Curso Técnico (1ª ed)* Robert Hopkins Jr.

Besednjak, Alejandro. (2005) *Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones. Ediciones UPC*

Schweer, Peter. (2002) *El correcto trimado del aparejo. (3ª ed)* Editorial Tutor.

Comité Técnico de la Real Asociación Nacional de Cruceros. (2014) *Manual de medición IRC. RANC*

Marín, Joan M. (2000). *Vicente Belliure. Disseny naval. (1ª ed)* Série Dissenyadors Valencians.

### WEBS

North Sails UK. Consulta el 1/02/2014. Disponibilidad en: <http://www.uk.northsails.com/>

North Sails Sudamérica. Consulta el 1/02/2014. Disponibilidad en:  
<http://www.sudamericaod.northsails.com/Tuning/Tecnolog%C3%ADa/Eldiseñodelasvelas/tabid/13031/language/en-US/Default.aspx>

Quantum One Design. Consulta el 2/07/2013. Disponibilidad en:  
<http://www.quantumonedesign.com/>

Dupont. Consulta el 22/07/2013. Disponibilidad en: <http://www.dupont.com/>

Teijinaramid. Consulta el 22/07/2013. Disponibilidad en: <http://www.teijinaramid.com/>

Depoorter sails. Consulta el 3/08/2013. Disponibilidad en: <http://depoorter.com/>

Doyle Sailmakers. Consulta el 3/08/2013. Disponibilidad en: <http://www.doylesails.com/>

Elvstrom. Consulta el 10/10/2013. Disponibilidad en:  
[http://www.elvstrom.hu/brosurak/Membrane\\_Technology\\_\(Genesis\).pdf](http://www.elvstrom.hu/brosurak/Membrane_Technology_(Genesis).pdf)

Onesails. Consulta el 31/10/2013. Disponibilidad en: <http://www.onesails.com/sailpack.php>

UK Sailmakers. Consulta el 10/10/2013. Disponibilidad en:  
<http://www.ukspain.com/faq.php?ver=genovas>

Sail World. Consulta el 10/05/2014. Disponibilidad en: <http://www.sail-world.com/europe/>

*Epsails*. Consulta el 10/05/2014. Disponibilidad en:  
[http://www.epsails.com/Sailmaking\\_2010.htm](http://www.epsails.com/Sailmaking_2010.htm)

*Hyde Sails*. Consulta el 1/04/2014. Disponibilidad en: <http://www.hydesails.co.uk/extra-half-knot.html>

*BSG Developpents*. Consulta el 25/06/2014. Disponibilidad en: <http://www.bsgdev.com>

*Sail Magazine*. Consulta el 25/06/2014. Disponibilidad en:  
<http://www.sailmagazine.com/inshore-racing/future-grand-prix-racing-sails>

*Seldenmast*. Consulta el 15/05/2014. Disponibilidad en:  
<http://www.seldenmast.com/files/595-950-SP.pdf>

*ORC*. Consulta El 01/07/2014. Disponibilidad en: <http://www.orc.org/index.asp?id=1>

## **ENTREVISTA**

Entrevista a Pep Soldevila en las instalaciones de *Tack Velas* situado en Marina 92 (Barcelona).

## CAPÍTULO 10. ANNEXO

### A. ESTUDIO COMPARATIVO DE 17 VELEROS

	BABARIA 40	ARCONA 400	AERODYNE 38	FARR 40	BAVARIA 39	FURIA 392
<b>AÑO</b>	2006	2001	2001	1983	1990	1990
<b>P</b>	15,30	15,35	15,70	15,25	15,20	13,20
<b>E</b>	5,27	5,51	5,03	5,65	4,90	4,73
<b>P/E</b>	2,90	2,79	3,12	2,70	3,10	2,79

	SWAN 40.2	SWAN 40	OYSTER 41	FIRST 40	FIRST 40.7	FIRST 41.5
<b>AÑO</b>	1979	1994	1980	2008	1996	1988
<b>P</b>	14,38	14,50	14,55	15,40	14,85	14,80
<b>E</b>	5,05	5,06	5,04	5,39	5,40	5,05
<b>P/E</b>	2,85	2,87	2,89	2,86	2,75	2,93

	SINERGIA 40	MOODY 42	COMET 41	DUFOUR 40	HANSE 400E
<b>AÑO</b>	2000	2010	2005	2003	2006
<b>P</b>	16,16	15,36	15,63	14,30	16,20
<b>E</b>	5,38	5,43	5,70	5,40	5,57
<b>P/E</b>	3,00	2,83	2,74	2,65	2,91

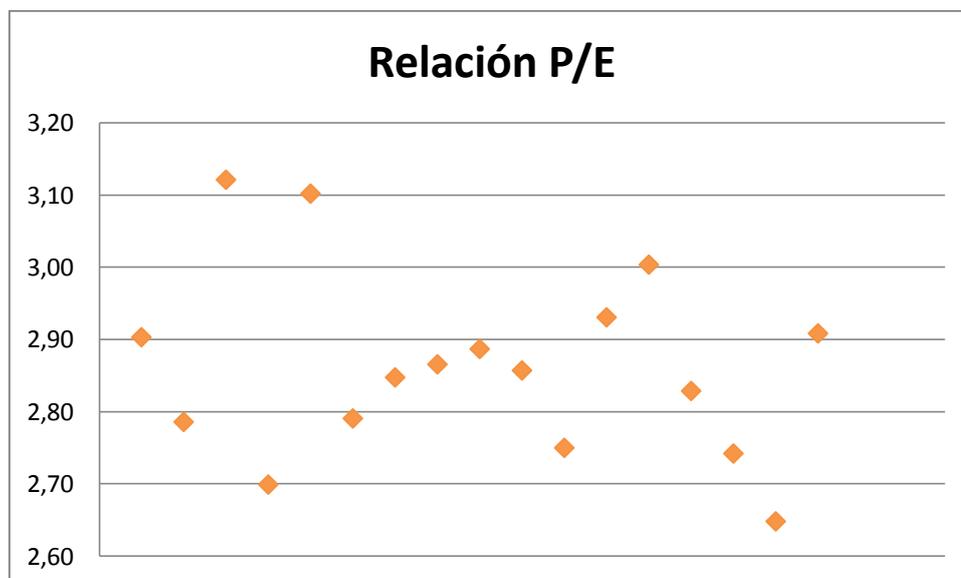


Gráfico de la relación P/E de 17 veleros de tamaño similar al Barcelona

## B. PRESUPUESTO DE MAYOR Y GÉNOVA TACK VELAS

Tack Velas SL  
Paseo Joan de Borbó 92 - Marina 92  
08003 Barcelona  
tel. 93 221 82 12 fax. 93 221 89 50  
e-mail. pep@tackvelas.com - info@tackvelas.com  
www.tackvelas.com - www.facebook.com/tackvelas

presupuesto  
de velas



**Berta Gomez**  
Facultat Nautica de Barcelona  
tel  
e-mail bertagomezllopart@hotmail.com

**PROTO 40 FACULTAT NAUTICA BCN**  
ORCi - IRC Sail Plan

*Mayor y Genova Crucero Radial- Laminado DCX® Polyester High Modulus Taffeta+Taffeta*

**crucero**  
*radial* Taffeta Blanca

<i>Mayor Crucero Radial - Laminado DCX® Polyester Taffeta Blanca - Radial</i>		<b>4,107 €</b>
<i>Genova Crucero Radial - Laminado DCX® Polyester Taffeta Blanca - Radial</i>	<i>Genova 145%</i>	<b>4,077 €</b>

**crucero**  
*radial* Taffeta Gris

<i>Mayor Crucero Radial - Laminado DCX® Polyester Taffeta Gris - Radial</i>		<b>4,298 €</b>
<i>Genova Crucero Radial - Laminado DCX® Polyester Taffeta Gris - Radial</i>	<i>Genova 145%</i>	<b>4,324 €</b>