

PFC: INGENIERÍA TÉCNICA NAVAL

**LAS VELAS. ESTUDIO DE MATERIALES
Y NUEVAS METODOLOGÍAS PARA
HACER UN VELERO SOSTENIBLE**

Autor: Neide Hidalgo Sales
Escuela: FNB UPC
Director: Inma Ortigosa
Departamento: Ciencia e ingeniería náutica.
Fecha: 20 de octubre de 2009

Índice

	<i>Pág.</i>
I.- Prólogo	12
1.- Introducción	13
2.- Objetivos y motivaciones del proyecto	14
2.1.- Velero “ <i>Volitan</i> ”	14
2.2.- Velero RO 340 ECO, propulsión ecológica	18
2.2.1.- Regeneración hidráulica	18
2.2.2.- Regeneración solar	18
2.2.3.- Regeneración eólica	19
2.2.4.- Regeneración por generador portátil o fijo	19
2.2.5.- Regeneración de carga a puerto	19
II.- Memoria	20
CAPÍTULO I.- LAS VELAS	
1.- Introducción histórica	21
2.- Fundamentos de la vela	24
2.1.- Nomenclatura básica	24
2.1.1.- Vela Mayor	25
2.1.2.- Velas de proa o foques	26
2.2.- Estudio de la vela	28
2.3.- Esfuerzos	29
2.3.1.- Fuerzas directas o aerodinámicas	29
2.3.1.1.- Fuerza propulsiva o de sustentación	31
2.3.1.2.- Fuerza de resistencia	33
2.3.1.3.- Campo de presiones y velocidades	34
2.3.2.- Esfuerzos indirectos o mecánicos	36

2.3.2.1.- Para la vela mayor	36
2.3.2.2.- Para el foque	37
2.3.3.- Estudio global	38
2.3.3.1.- La curvatura y el volumen	38
2.3.3.2.- Los reglajes	38
2.3.3.3.- Las proporciones	38
2.3.3.4.- Los materiales	38
3.- Los materiales	39
3.1.- Las fibras	39
3.1.1.- El poliéster	39
3.1.1.1.- Propiedades generales	39
3.1.1.2.- Prestaciones para las velas	40
3.1.1.3.- Tipos principales	40
3.1.2.- Las poliamidas	40
3.1.2.1.- Propiedades generales	40
3.1.2.2.- Prestaciones para las velas	41
3.1.3.- Las aramidias	41
3.1.3.1.- Propiedades generales	41
3.1.3.2.- Prestaciones para las velas	42
3.1.3.3.- Tipos principales	43
3.1.4.- El carbono	43
3.1.4.1.- Propiedades generales	43
3.1.4.2.- Prestaciones para las velas	43
3.2.- Los tejidos	44
3.2.1.- Fabricación y acabado de los tejidos	45
3.2.1.1.- Tejidos impregnados	45
3.2.1.2.- Tejidos revestidos	46
3.3.- Los compuestos o laminados	46
3.3.1.- Tipos de laminado	49
3.3.1.1.- Simples (Triplay)	49
3.3.1.2.- Taffeta	50
3.3.1.3.- Sándwich	50

3.3.1.4.- Cuben fiber	50
3.3.2.- Films o películas	51
3.4.- Propiedades físicas requeridas	52
3.4.1.- Módulo de elasticidad	52
3.4.2.- Resistencia a la tracción	52
3.4.3.- Límite elástico	52
3.4.4.- Flexibilidad	53
3.4.5.- Peso y ligereza	53
3.4.6.- Absorción de humedad y porosidad	53
3.4.7.- Resistencia UV	54
3.4.8.- Resistencia a las costuras	54
3.4.9.- Resistencia al desgarro y durabilidad	54
4.- Fabricación elaboración	55
4.1.- Proceso de producción	57
4.1.1.- Tecnología 3DL, <i>Three Dimensional Laminate</i>	58
4.1.2.- Tecnología Fusión M	61
4.1.3.- Comparaciones	64
CAPÍTULO II.- LA ENERGÍA SOLAR	
5.- Descripción de la energía solar	66
5.1.- Energía solar eléctrica o fotovoltaica	67
5.2.- Colectores solares	68
5.2.1.- Tipos de células	70
5.2.1.1.- Células de silicio	70
5.2.1.2.- Células de Arseniuro de galio	71
5.2.1.3.- Células de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre	71
5.2.3.- Evolución y generaciones	71
5.3.- Nuevos módulos y células fotovoltaicas	72
5.3.1.- Módulos flexibles, enrollables y portables	73
5.3.2.- Módulos CIGS y células fotoeléctricas orgánicas OPV	74
5.3.3.- Textiles solares	76

5.3.4.- Células DSSC, <i>Dye Sensitized solar cell</i>	77
6.- Instalación fotovoltaica	79
6.1.- Breve descripción de los sistemas de una instalación fotovoltaica	80
6.1.1.- Sistema de generación	80
6.1.2.- Sistema de acumulación y regulación	80
6.1.3.- Sistema de transformación	80
CAPÍTULO III.- DISPOSICIÓN SISTEMA SOLAR	
7.- Características energéticas de un velero	82
7.1.- Sistema energético de un velero	82
7.1.1.- Sistema propulsivo	82
7.1.2.- Sistema eléctrico	83
7.2.- Sistema energético alternativo	83
7.3.- Elección de la embarcación	84
7.3.1.-Características del velero de estudio	84
7.3.2.- Instalación eléctrica	84
7.3.3.- Elementos de consumo	85
7.3.3.1- Iluminación	85
7.3.3.2.- Equipos de navegación	85
7.3.3.3.- Bombas eléctricas	85
7.3.3.4.- Electrodomésticos	85
7.3.4.- Certificado e inventario	86
8.- Dimensionado del sistema alternativo de propulsión	89
8.1.- Cálculo necesidades propulsivas	89
8.1.1.- Características del motor eléctrico	89
8.1.2.- Tabla de resultados	90
8.2.- Dimensionado del equipo solar	90
8.2.1.- Evaluación del consumo	90
8.2.1.1.- Ecuaciones de consumo	91

8.2.1.2.- Resultados consumo servicios	92
8.2.1.3.- Resultados consumo motor	90
8.2.1.4.- Consumo total	93
8.2.2.- Elección del panel fotovoltaico	93
8.2.3.- Carga diaria a consumir	94
8.2.3.1.- Ecuaciones de carga diaria a consumir	94
8.2.3.2.- Resultados carga diaria (servicios)	94
8.2.3.3.- Resultados carga diaria (motor)	94
8.2.3.4.- Resultados carga diaria total	94
8.2.4.- HSP de radiación solar	95
8.2.4.1.- Resultado HSP	95
8.2.5.- Cantidad de paneles solares	95
8.2.5.1.- Resultado número de paneles	97
8.2.5.1.1.- Cálculos para módulos flexibles de Ibersolar	97
8.2.5.1.2.- Cálculos para módulos flexibles de Brunton	99
8.2.6.- Dimensionado de la batería	100
8.2.7.- Dimensionado del regulador	101
8.2.8.- Dimensionado del inversor	102
8.2.9.- Cálculo de la sección del conductor	102
9.- Conclusiones	104
III.- Bibliografía	108
IV.- Anexos	
Anexo I: Glosario y Empresas	
Anexo II: Fibras químicas	
Anexo III: Formularios de medición	
Anexo IV: Dispositivos semiconductores electrónicos	
Anexo V: Células solares orgánicas	
Anexo VI: Catálogos células solares	

Índice de imágenes

	<i>Pág.</i>
Fig. 2.1.- Imagen del movimiento de las velas	15
Fig. 2.2.- Ilustración del diseño de las velas y orzas del velero	16
Fig. 2.3.- Instalación placa solar en cubierta RO 340	18
Fig. 1.1.- Embarcación egipcia	21
Fig. 1.2.- Goleta América de 1851	22
Fig. 2.1.- Nomenclatura vela mayor	24
Fig. 2.2.- Ilustración del cartabón de mayor	25
Fig. 2.3.- Ilustración de las cadenas de mayor	25
Fig. 2.4.- Ilustración grátil de mayor P	25
Fig. 2.5.- Ilustración Pujamen de mayor E	26
Fig. 2.6.- Ilustración cartabón de proa	26
Fig. 2.7.- Ilustración medidas de Génova y trinqueta, JL, LPG, JMG, IGU	27
Fig. 2.8.- Ilustración base triángulo de proa	27
Fig. 2.9.- Ilustración altura de driza de Génova IG	27
Fig. 2.10.- Definiciones geométricas de una sección alar	28
Fig. 2.11.- Geometría de una sección vélica	29
Fig. 2.12.- Fuerzas que actúan sobre un velero	30
Fig. 2.13.- Ilustración fuerza propulsiva	31
Fig. 2.14.- Fuerzas desarrolladas por la vela en flujo laminar	32
Fig. 2.15.- Influencia del ángulo de ataque	32
Fig. 2.16.- Fuerzas que actúan en un bote al navegar	34
Fig. 2.17.- Analogía de la propagación de las fuerzas	36
Fig. 2.18.- Principales líneas de fuerza	37
Fig. 2.19.- Valor de la fuerza dependiendo de la curvatura	38
Fig. 3.1.- Gráfico comparativo de la fuerza/alargamiento de diversas fibras utilizadas en velería	43
Fig. 3.2.- Principales ejes de resistencia	44
Fig. 3.3.- Bisectriz del ángulo formado entre los hilos, la diagonal, bias.	44
Fig. 3.4.- La sobre tensión de los hilos de la trama obliga a ondulaciones forzadas en la urdimbre	44
Fig. 3.5.- La impregnación, un baño de resina	45
Fig. 3.6.- El revestimiento consiste en una fina capa de resina vertida, como tela encerada	46
Fig. 3.7.- Tipos de laminados	48
Fig. 3.8.- Disposición de las fibras y films de poliéster en los materiales compuestos	50
Fig. 3.9.- Gráfico comparativo de la resistencia y del alargamiento de diversos materiales compuestos	51
Fig. 4.1.- Ensamblaje de los paños	55
Fig. 4.2.- Ejemplos de construcción	56

Fig. 4.3.- El laminado continuo es modulado en 3 dimensiones recorriendo las fuerzas principales que recorren por la vela	57
Fig. 4.4.- Diseño en archivo CAD/CAE	59
Fig. 4.5.- Cabezal distribuidor de fibras	59
Fig. 4.6.- Molde tridimensional y aplicación de calor para el curado	59
Fig. 4.7.- Distribución de las fibras destinadas a un Génova 3DL	60
Fig. 4.8.- Definición del perfil, dimensionamiento de la vela y selección tipo y cantidad de fibras	61
Fig. 4.9.- Modelización en CFD, definición de condiciones	62
Fig. 4.10.- Optimización en VPP, presiones, velocidades y tensiones	62
Fig. 4.11.- Orden capas del laminado	63
Fig. 4.12.- Colocación de las fibras sobre mesa plana mediante sistema de plotter	63
Fig. 4.13.- Finalización proceso de laminado	63
Fig. 4.14.- Efecto presión de vacío	64
Fig. 5.1.- Diagrama del espectro de radiación electromagnética	66
Fig. 5.2.- Ilustración del efecto fotovoltaico	67
Fig. 5.3.- Célula fotoeléctrica	68
Fig. 5.4.- Proceso de obtención de células fotoeléctricas y construcción de paneles solares	70
Fig. 5.5.- Nueva tecnología de paneles solares delgados	72
Fig. 5.6.- Paneles delgados y flexibles con células fotoeléctricas CIGS y OPV	75
Fig. 5.7.- Estructura molecular de los polímeros semiconductores	75
Fig. 5.8.- Muestra de tejido desarrollado para absorber la energía solar y transformarla en eléctrica	76
Fig. 5.9.- Células fotovoltaicas elaboradas en aerosol e inyección de tinta	78
Fig. 6.1.- Diagrama del sistema fotovoltaico	79
Fig. 7.1.- Diagrama de bloques del sistema energético en una embarcación pequeña	82

Índice de tablas

	<i>Pág.</i>
Tabla. 3.1.- Ventajas e inconvenientes de los tejidos impregnados	46
Tabla. 3.2.- Ventajas e inconvenientes de los tejidos revestidos	47
Tabla. 3.3.- Ventajas e inconvenientes de los laminados	49
Tabla. 3.4.- Cuadro comparativo de las principales características de las fibras utilizadas en velería	54
Tabla. 4.1.- Cuadro comparativo diferencias básicas entre laminados	64
Tabla. 5.1.- Materiales semiconductores	69
Tabla. 5.2.- Propiedades técnicas de algunos productos Brunton	74
Tabla. 7.1.- Características generales de la embarcación	84
Tabla. 8.1.- Consumo de los equipos y servicios de la embarcación seleccionada durante la navegación diurna	91
Tabla. 8.2.- Consumo corriente continua motor eléctrico	91
Tabla. 8.3.- Especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos seleccionados	93

I.- PRÓLOGO

1.- Introducción

El velero es una embarcación que desde sus inicios ha utilizado la fuerza del viento como fuente de energía principal para su propulsión, siendo las velas el “motor/propulsor” eólico más antiguo capaz de generar el equivalente a muchos caballos de potencia.

No obstante, todos los veleros disponen de un motor de combustión interna, como propulsión auxiliar, empleada generalmente en el momento de fondear, atracar, y en caso de falta de viento o mal tiempo. Estas tres situaciones son indispensables a considerar a la hora de diseñar el propulsor y la potencia a instalar en un barco, así como el consumo de energía eléctrica.

El afán de hacer de la navegación a vela algo más ecológica, concibiendo embarcaciones autosuficientes sin la necesidad de consumir gasolina, ha inspirado a muchos diseñadores y empresas la idea de un barco que no quemara una gota de combustible.

Diseños y estudios basados en la colocación de placas solares sobre la cubierta o en superficies adicionales junto con la combinación de motores híbridos y motores eléctricos, así como el Proyecto “RO 340 ECO” de la firma Ronáutica o el “VELERO VOLITRÁN” de los diseñadores Hakan Gürsu y Söeüm Dogan de la empresa Designnobilis; donde las velas de éste modelo están recubiertas con paneles solares (rígidas) que se extienden como alas, controladas por un ordenador a bordo, atrapando el viento, cuando las condiciones son buenas, o alimentando los motores eléctricos mediante la absorción de la radiación solar.

2.- Objetivos y motivaciones del proyecto

La motivación principal del presente proyecto es realizar el estudio de la posibilidad de propulsar una embarcación de vela con energía solar, en esos momentos en los que requiere la utilización de un motor de combustión.

Se han realizado numerosos estudios y proyectos de embarcaciones solares, sin embargo debido a la tecnología utilizada hasta la fecha en los captadores solares y el rendimiento de transformación de los mismos, ha requerido el refuerzo estructural de la embarcación y/o diseños alternativos, debido a que son pesados y de grandes dimensiones requiriendo grandes superficies para su instalación.

Actualmente la industria de la captación solar ha evolucionado de tal modo que en el año 2009, se puede encontrar en el mercado y en desarrollo una gran cantidad y variedad de nuevas células y paneles solares, más ligeros y flexibles.

Partiendo de la inspiración evocada por los proyectos descritos a continuación, este trabajo está orientado a realizar un estudio de viabilidad para utilización/colocación de los nuevos elementos de captación solar en un velero, con intención de aprovechar la superficie vélica para la colocación de los mismos y poder conservar la estética clásica y romántica de la navegación a vela.

Para ello se realizará un estudio detallado de los procesos de fabricación, condiciones de trabajo, características y propiedades necesarias de los materiales utilizados para la confección de las mismas con objeto de analizar la posibilidad de introducir los nuevos captadores solares en las velas, como tejido o material de confección. También se realizará un estudio de los diferentes tipos de células y paneles fotovoltaicos, junto al dimensionado de la instalación fotovoltaica.

A continuación se detallan los prototipos y modelos, que presentan los nuevos diseños y los últimos métodos para complementar entre sí las energías renovables.

2.1.- Velero “Volitan”

Es una embarcación conceptual que navega mediante energías renovables, además de presentar un complejo sistema de alas que le brindan mayor estabilidad.

La compañía turca Desing Nobis, ha diseñado un velero cuyo objetivo desde su concepción ha sido basado en una construcción de última tecnología empleando materiales ultraligeros capaz de manejarse con energías “limpias”, alimentado de sol y viento, sin consumo de combustible, y unas velas rígidas que permiten alcanzar muy altos rendimientos.

Sus dos velas se extienden como alas desde el casco y están constituidas por una estructura de carbono hallándose recubiertas por ambos costados por miles de células solares de silicio de alto rendimiento que almacenan la energía solar fotovoltaica en baterías marinas situadas en los lugares más bajos del casco, actuando como lastre, aligerando así el diseño de la embarcación.

Así mismo las velas rígidas actúan como un motor de propulsión de alto rendimiento debido al comportamiento de las mismas como auténticas alas aerodinámicas.

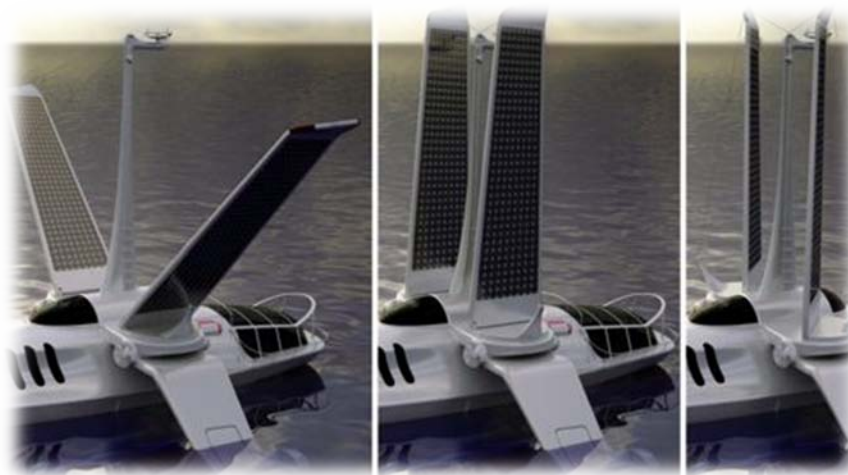


Fig. 2.1.- Imagen del movimiento de las velas.

© Revista Popular Scienc.

La energía solar capturada y almacenada permite a la embarcación seguir en funcionamiento durante las horas nocturnas y cuando existe la necesidad de “esconder las alas” debido al mal tiempo o falta de viento.

El plano vélico puede bascular, girar y moverse como lo harían las alas de un pájaro, lo que permite ajustar perfectamente la potencia propulsora y optimizar el empuje según la dirección del viento y el rumbo del barco. El movimiento de dichas velas es controlado de forma optimizada por ordenador pudiéndose así regular el ángulo de incidencia entre las velas respecto al viento o su inclinación.

Mencionar que al cambiar el ángulo de las velas también se modifica automáticamente el ángulo de los planos sumergidos para conseguir el máximo de estabilidad.

Las células solares empleadas son tratadas con una capa antirreflejos y de muy alta transmisión lumínica, ofreciendo en total una potencia útil de aproximadamente diez kilowatios en máxima exposición solar. Únicamente se requiere el lavado de la superficie de vez en cuando, para mantenerlo perfectamente operativo, como mantenimiento necesario. La vida útil de las células solares, al ser de silicio, es prácticamente ilimitada.

No obstante, el diseño de las alas implica elevadas cargas estructurales y fuertes fuerzas de torsión al navegar con mal tiempo. Por ello para poder construir el *Volitan*¹ es imprescindible el uso de materiales de alta tecnología.

Los motores eléctricos de propulsión van montados en los extremos inferiores de dos orzas que, del mismo modo que las velas, pueden bascular para ajustar el brazo de palanca y el par de adrizamiento, y además pivotar para disminuir la obra viva o mejorar el efecto antideriva de las mismas.

Los motores eléctricos para la propulsión son de 220 Cv (caballos) cada uno, alimentados por corriente continua, y además de propulsar la embarcación como apoyo al viento o como motores de maniobra, permiten mediante un complejo sistema de sensores acelerómetros y giróscopos, estabilizar el velero al producir pequeños pulsos de propulsión estabilizadora. El movimiento tanto de las orzas como las velas debe a un grupo servomotor con sistema hidráulico.

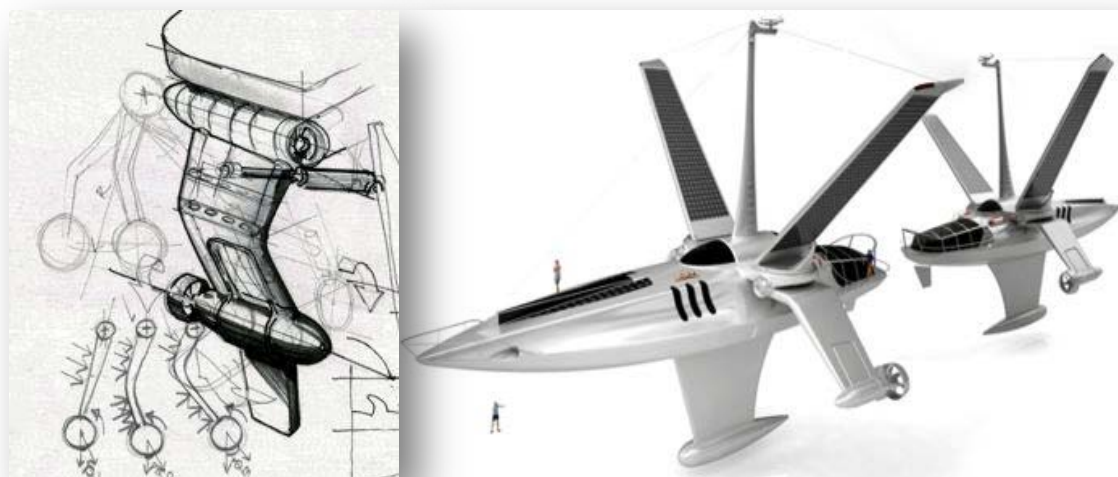


Fig. 2.2.- Ilustración del diseño de las velas y orzas del velero.

© Revista Popular Scieec.

1 Nombre correspondiente a un pez volador del Mar Mediterráneo.

El *Volitan* es una embarcación totalmente autosuficiente pues obtiene toda la energía consumida del sol y del viento. En condiciones de viento normal su velocidad será de catorce nudos² mientras simultáneamente recarga las baterías de servicio.

Las baterías utilizadas son del tipo AGM³ (sin mantenimiento) de células abiertas y de ciclo profundo lo que permite un alto número de ciclos de carga y descarga. Este tipo de baterías preservan el entorno pues evitan el vertido de ácidos al medio ambiente.

2.2.- Velero RO 340 ECO, propulsión ecológica

La firma Ronáutica Yacht & Renovables ha lanzado el primer velero ecológico⁴. La primera embarcación de producción en serie del mercado propulsada por energías renovables. Dicha embarcación cuenta con componentes que le aseguran la máxima eficiencia energética sin contaminar. Dispone de un motor eléctrico y no lleva tubo de escape ni sistema de refrigeración del motor por agua salada, no desprendiendo así humo ni agua sucia al mar.

No obstante, todavía no es un ejemplo de navegación ecológica y de hecho está lejos de ser autosuficiente.

Debido a que su navegación estrictamente a motor ofrece una autonomía limitada, cifrada en una hora a velocidad máxima, siete nudos, o unas cuatro horas a 4 Kn (nudos). Si el desplazamiento supera estos períodos de tiempo se debe encender un pequeño generador de gasolina de que dispone, o un generador diesel que da la velocidad y capacidad eléctrica de un velero estándar.

Las características que lo convierten en un velero “ecológico”, son aquellas determinadas por los componentes que forman su equipo propulsor:

2 A título informativo 1 Kn (*nudo*) es equivalente a una (1) milla náutica por hora, correspondiente a la conversión $\frac{1852 \text{ metros}}{3600 \text{ segundos}}$.

3 “*Absorbed Glass Mat*”. Son baterías plomo-ácido en las que se utiliza fibra de vidrio como inmovilizador del electrolito, colocada entre ambos electrodos. Son baterías herméticas, que no necesitan mantenimiento y son muy resistentes a las vibraciones. Pueden llegar a suministrar una corriente superior a las baterías de Plomo-ácido. Su ciclo de vida es de aproximadamente 100 ciclos al 50 % DOD (*Depth Of Discharge*). La autodescarga es del 1% al 3% de la carga al mes. La eficiencia para su carga es del 96 % y tan solo el 4% de la energía eléctrica se transforma en calor.

4 Relativo a ecología. Estudio de la defensa de la naturaleza y medio ambiente.

- Un motor síncrono⁵ de corriente continua trifásico, con la misma capacidad de producir el par equivalente a un motor térmico de 28 Cv.
- La instalación de un controlador-convertidor que transforma la corriente continua de las baterías en corriente alterna trifásica.
- Un software que permite regenerar corriente mediante la carga de las baterías cuando se navega a vela al funcionar como un alternador.
- Un sistema de cableado digital e iluminación por leds.
- La disposición de ocho (8) baterías para el motor y dos (2) para servicios, todas ellas baterías tipo AGM.

La particularidad del sistema de propulsión en el velero RO 340 ECO reside en los diversos sistemas de regeneración de energía de los cuales dispone. Son procedimientos de autoregeneración de las baterías durante la navegación, permitiendo así alargar la autonomía de la embarcación. Se pueden distinguir:

2.2.1.- Regeneración hidráulica

Se aprovecha la resistencia hidrodinámica de la hélice al paso del flujo de agua para recargar las baterías, funcionando el motor como un alternador.

2.2.2.- Regeneración solar

Mediante la instalación de placas solares en cubierta, el sistema da regeneración de energía a las baterías de servicio alimentando los dispositivos electrónicos de ayuda a la navegación.



Fig. 2.3.- Instalación placa solar en cubierta RO 340.
©www.ronautica.com

5 Motor eléctrico-térmico de corriente continua.

2.2.3.- Regeneración eólica

Mediante el uso de un generador eólico de eje vertical en el mástil, el cual recarga las baterías de servicio.

2.2.4.- Regeneración por generador portátil o fijo

Un pequeño generador de cuatro tiempos de bajo consumo, con tecnología inverter y aislado acústicamente, permite recargar las baterías en condiciones extremas como en caso de la ausencia de viento.

2.2.5.- Regeneración de carga a puerto

Por medio de un cargador de alta potencia, se consigue recargar 100% las baterías en menos de seis horas.

II.- MEMORIA

CAPITULO I: LAS VELAS

1.- Introducción histórica

La vela se define como el conjunto de paños o piezas de lona, lienzo fuerte u otro tejido cualquiera, cortados de diversos modos y cosidos entre sí, formando una superficie capaz de recibir el viento, y que montado en un palo de la embarcación, sirve para propulsarla o hacerla evolucionar.

Diversos estudios arqueológicos sitúan los orígenes de la navegación a vela en la Edad de Bronce (2000-700 a.C.), en las civilizaciones más antiguas de Egipto, donde los primeros barcos egipcios fueron los predecesores en la lucha por dominar los elementos para la navegación fluvial en el Nilo.

La embarcación de vela más antigua que se conoce es un barco egipcio que aparece en una tumba egipcia que data de 2400 a.C., la cual iba aparejada con una vela cuadrada⁶ sobre un corto mástil central y se gobernaba con un gran remo en popa. También los polinesios construían piraguas impulsadas por equipos remeros y una pequeña vela triangular.

En el afán de poder navegar en contra del viento, los egipcios desarrollaron un tipo de aparejo, evolución de las mencionadas velas cuadradas, que permitía navegar en cierta medida en contra del viento: *la vela latina*. Consistía en una vela trapezoidal con un grátil más corto que se izaba sobre un brazo dispuesto oblicuamente respecto al palo principal.

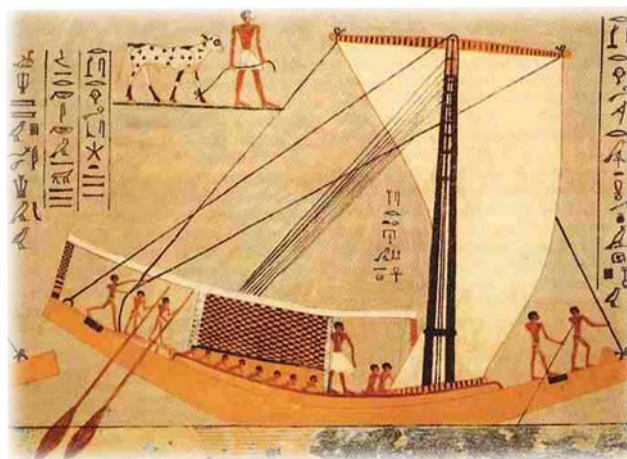


Fig. 1.1.- Embarcación egipcia.

© La cultura del Antiguo Egipto. Edimat Libros, S.A.

Los egipcios elaboraban las velas primitivamente con la corteza del papiro, y posteriormente con lana. Los bretones confeccionaban sus velas con cuero, y en algunas aldeas con esparto o juncos. Sin embargo, el primer constituyente importante para la

vela fue el lino, empleado originariamente por los romanos.

⁶ Vela de forma cuadrada que recibe el viento de popa debido a su gran superficie, pero no es capaz de ceñir el viento, es decir, solo produce empuje con vientos portantes (a favor).

El lino fue la primera fibra vegetal que tuvo una importante aceptación en la industria textil después de la lana. Su cultivo se remonta hasta el siglo IV a.C. en Egipto, como tejido imprescindible en las momificaciones. Debido a que la fibra de lino estaba preparada para hilar, y según su procedencia era capaz de absorber hasta un 20% de agua sin llegar a adquirir un tacto húmedo, y poseía una alta resistencia a la rotura, particularidad que le hacía relevante para la elaboración de velas.

Posterior al lino, cronológicamente, apareció el algodón. Aunque es la fibra más común en la actualidad, fue la última fibra natural en alcanzar importancia comercial. En el siglo V a.C. ya se usaba en Grecia proveniente de la India, aunque los antiguos romanos la utilizaban para toldos, velas y prendas de vestir en Europa no se extendió hasta varios siglos después. Con la introducción de la *desmontadora* de algodón del estadounidense Eli Whitney⁷ en 1793, se convirtió en la fibra más importante por su calidad y su bajo coste.

La llegada del algodón supuso un gran avance en la eficiencia de la vela. Al ser la fibra más fina que el lino permitía que éstas pudieran tejerse más estrechamente, obteniendo así un mayor rendimiento en la propulsión. No obstante, su primera aparición como tejido para la elaboración de velas fue con la victoria de la goleta “*América*” en 1851, en la primera competición oficial entre embarcaciones de vela, conocida como *Copa América*.



Fig.1.2.- Goleta América de 1851.

©<http://quiron.wordpress.com/2007/05/03/la-copa-que-gano-la-goleta-america>

Pronto se dedujo que la eficiencia de las velas para conseguir mayores velocidades era proporcional a su tamaño y relacionado con el material/fibra en que ésta estaba elaborada. Desde entonces el diseño y la construcción naval se han desarrollado para conseguir velas más fiables, más resistentes y que proporcionen mayores velocidades a las embarcaciones.

⁷ **Eli Whitney** (8 de diciembre de 1765 - 8 de enero de 1825); fue un inventor y fabricante estadounidense. Inventó la máquina para desgranar el algodón en 1793. Esta máquina era una unidad mecánica que separaba las semillas del algodón, lo que hasta entonces era un trabajo muy pesado, por la escasa participación humana.

El nacimiento de la navegación a vela como deporte se podría considerar reciente, pudiéndose situar entre las dos guerras mundiales, pero su expansión se produce con la aparición de nuevos materiales, a finales de los años 50 y principios de los 60. El primer gran avance tecnológico en el mundo de la vela fue la incorporación del tetraftalato de polietileno (poliéster); un polímero derivado del petróleo, que rápidamente reemplazó al lino y al algodón por poseer una mayor resistencia a la deformación⁸ y proporcionar una disminución considerable del peso.

Con el descubrimiento de los tejidos sintéticos, y los estudios desarrollados en base a las fuerzas y tensiones a las que están sometidas las velas, se observó que éstas al ser confeccionadas con fibras tejidas sufrían deformaciones que disminuían su eficiencia y durabilidad.

En los años setenta el deseo de encontrar un material capaz de soportar las mencionadas deformaciones, así como el ambiente húmedo salino y la acción de los rayos ultravioletas, propició el desarrollo de nuevos métodos de confección, denominados “laminados”, que permitían a las embarcaciones poseer velas más ligeras, que les proporcionara mayor velocidad y fiabilidad.

Siendo el objetivo principal de éstos métodos encontrar aquel material que evitara el estiramiento de los tejidos consiguiendo mantener la forma de la vela que la embarcación considera óptima cuando está sometida a las tensiones de trabajo.

Con el paso de los años se ha determinado que no existe un único buen material para la confección de velas sino varios materiales que proceden de diferentes técnicas y requieren distintas aplicaciones. Los métodos y fibras aquí descritas, hoy en día se emplean indistintamente, en función del tipo de vela y a la embarcación a la que va destinada.

⁸ Evitar que las fibras sean extensibles.

2.- Fundamentos de la vela

Para poder entender cómo se logra la propulsión de una embarcación mediante el embolsamiento de aire en una membrana de tela triangular, primero se deben identificar las partes principales de una vela, así como conocer los parámetros básicos para su planificación y diseño.

2.1.- Nomenclatura básica

El borde principal de una vela se denomina *grátil*, y éste se encuentra en la parte delantera de la embarcación. El borde posterior se le asigna la denominación de *baluma* y a la orilla inferior *pujamen*. Se denomina *cuerda* a la línea imaginaria horizontal que va desde el grátil hasta la baluma a lo alto de toda la vela.

La cantidad de curvatura en una vela, es decir, el embolsamiento capaz de adquirir la fibra de material que constituye la misma, se le denomina *calado* y la medición perpendicular desde la cuerda hasta el punto de calado máximo se llama *profundidad de la cuerda*.

El lateral de la vela que “llena” el aire para crear una curva cóncava se denomina lado de *barlovento*. Y el costado que es “soplado” hacia el exterior creando una curva convexa se llama lado de *sotavento*.

Una embarcación se mueve en dirección de barlovento utilizando las fuerzas que se crean a cada lado de la vela. Esta fuerza total es una combinación de una fuerza positiva (de empuje o propulsión) en el costado de barlovento y una fuerza negativa (de atracción o resistencia) en el lado de sotavento, ambas actúan en la misma dirección. No obstante la fuerza de empuje es la más grande.

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| 1.- Puño de driza ó pena | 7.- Vela Marconi o bermudina |
| 2.- Garrucho | 8.- Extremo de nervio |
| 3.- Tabla de grátil | 9.- Faja de rizos o matafiones |
| 4.- Sable | 10.- Puño de amura |
| 5.- Baluma o caída de popa | 11.- Pujamen |
| 6.- Grátil o caída de proa | 12.- Puño de escota |

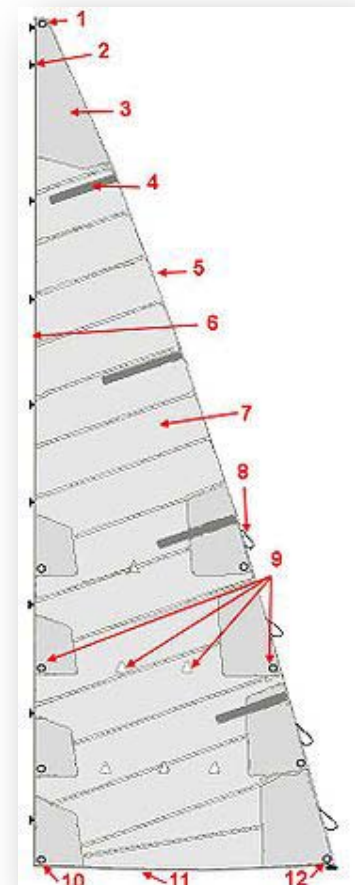


Fig. 2.1.- Nomenclatura vela mayor.
© www.wikipedia.org

Las distancias y medidas más relevantes para el cálculo y diseño de las velas de una embarcación son las siguientes, distinguiendo entre vela mayor y velas de proa.

2.1.1.- Vela Mayor

Cartabón de mayor HB

Es la máxima distancia, perpendicular al grátil, entre la parte exterior del grátil o su prolongación hasta el borde exterior de la baluma.

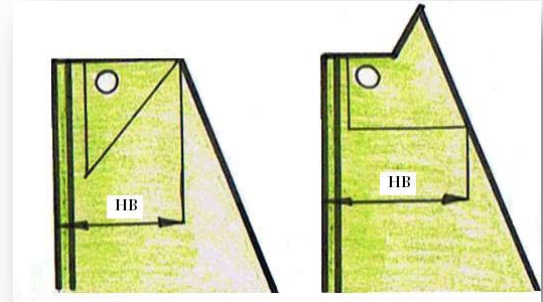


Fig. 2.2.- Ilustración del cartabón de mayor.

Cadenas de la mayor

MGT

Cadena mayor tope, tomada a siete octavos de la parte superior de la baluma, hasta el grátil.

MGU

Cadena mayor superior, tomada a un cuarto de la parte superior de la baluma, hasta el grátil.

MGM

Cadena mayor media, medida entre la mitad de la baluma y el punto más cercano al grátil.

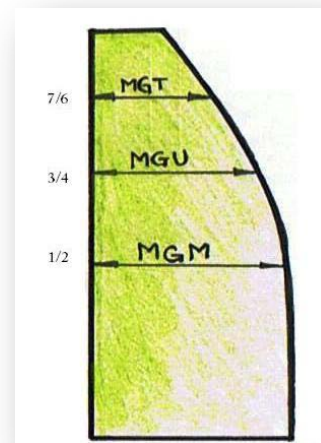


Fig. 2.3.- Ilustración de las cadenas de mayor.

Altura del grátil de la mayor P

Es la distancia, a lo largo de la cara de popa del palo mayor, desde el nivel más alto a que se puede izar al puño de driza hasta la posición más baja del puño de amura

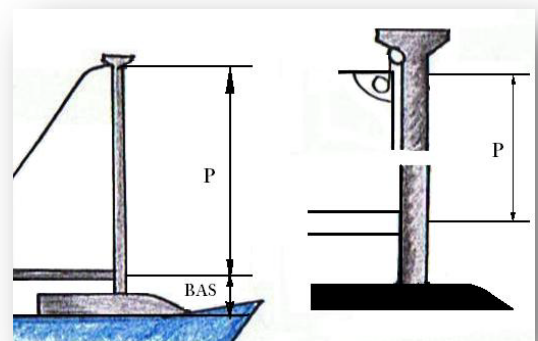


Fig. 2.4.- Ilustración grátil de mayor P.

Pujamen de mayor E

Distancia entre la cara de popa del mástil y el puño de máximo cazado del puño de escota de la mayor. Será la longitud medida a lo largo de la botavara, en posición horizontal, desde la cara de popa del palo hasta la posición más a popa que se le permita extender la vela.

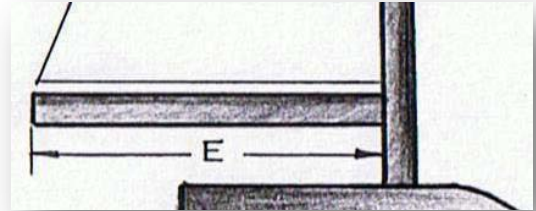


Fig. 2.5.- Ilustración Pujamen de mayor E.

2.1.2.- Velas de proa o foques⁹*Cartabón de proa JH*

Es la máxima distancia, perpendicular al grátil, entre la parte exterior del grátil de la vela, o su prolongación, hasta el borde exterior de la baluma.

Grátil de proa JL

Medida correspondiente al grátil de la vela. Se mide a lo largo del grátil entre los puños de driza y amura.

Perpendicular de proa LPG

Es la distancia entre el grátil y el puño de escota, perpendicularmente al grátil.

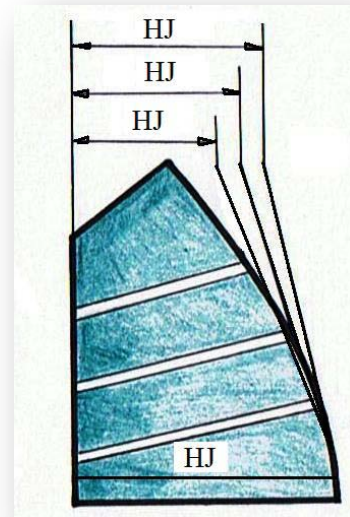


Fig. 2.6.- Ilustración cartabón de proa.

*Perpendiculares medias***JGM**

Distancia entre la mitad de la baluma hasta el grátil. El punto medio de la baluma se obtiene plegando la vela por la baluma de modo que se junten los puños de driza y escota.

JGU

Distancia de la baluma hasta el grátil medida a $\frac{3}{4}$ de la altura de la vela. El punto de la baluma se obtiene volviendo a plegar la vela por la baluma.

⁹ El término “vela de proa” se refiere a las velas que izan en el triángulo de proa.

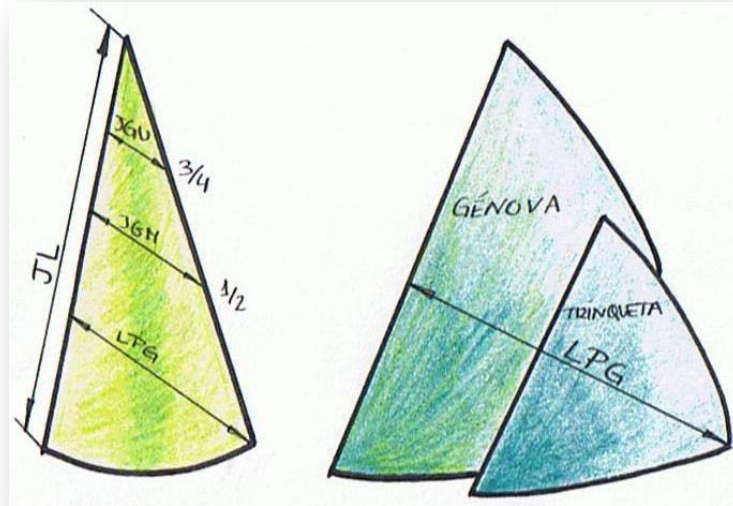


Fig.2.7.- Ilustración medidas de Génova y trinqueta, JL, LPG, JMG, JGU.

Triángulo de proa J

Distancia horizontal desde la cara de proa del mástil de más de proa, hasta el punto de intersección del estay en cubierta.

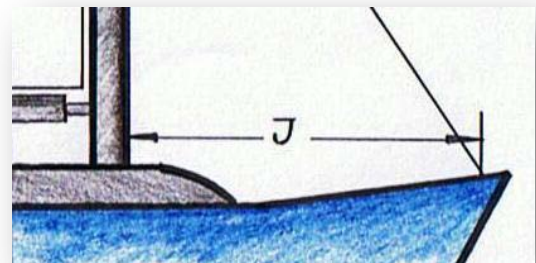


Fig. 2.8.- Ilustración base triángulo de proa.

Altura de driza de Génova IG

Medida correspondiente a la distancia entre el punto de anclaje del estay proel a la estructura del palo, o a la intersección del eje del estay proel con la cubierta.

Esta dimensión se toma midiendo la distancia "g" desde el punto superior hasta el borde superior de la banda baja de P y sumándole posteriormente BAS, siendo ésta la distancia vertical entre el punto inferior de medición de P y la línea a nivel de la cubierta.

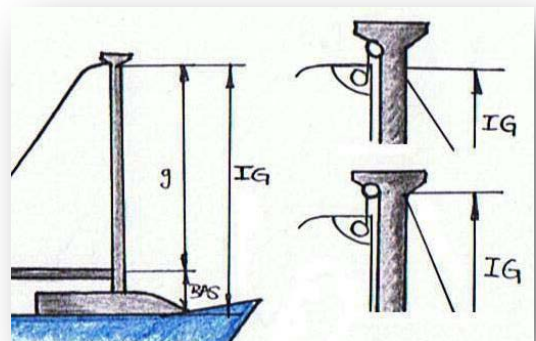


Fig. 2.9.- Ilustración altura de driza de Génova IG.

2.2.- Estudio de la vela

El estudio y diseño de las velas es muy similar al de las alas de un avión. Para entender con claridad el funcionamiento de un ala es necesario reconocer que esta se define como un conjunto de perfiles, siendo estos considerados como una sección del ala tomada transversalmente a su eje mayor.

La parte de la sección que incide con el fluido es el borde de ataque y la parte por donde sale el flujo es el borde de salida. La distancia entre el borde de ataque y el de salida es denominada cuerda.

Ubicado el perfil en sentido horizontal respecto a su cuerda, se denomina extradós o cara de succión a la envolvente superior convexa del mismo (sotavento), e intradós o cara de presión a la envolvente inferior generalmente cóncava (barlovento).

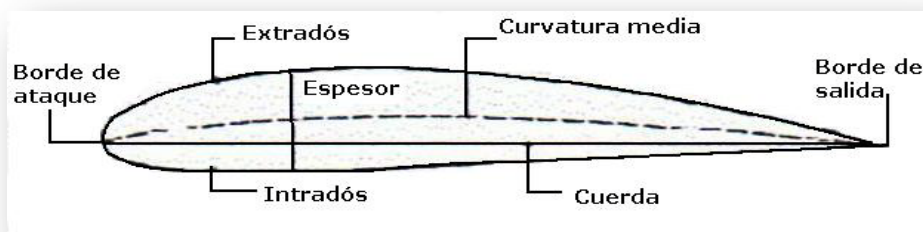


Fig. 2.10.- Definiciones geométricas de una sección alar.
© Sail Performance. Ediciones International Marine.

Una vela no es más que un ala con ciertas particularidades. El espesor puede considerarse nulo desde el punto de vista aerodinámico. La mayor parte de las veces una vela trabaja en un flujo distorsionado que existe detrás de un mástil. Las velas se comportan como una membrana, es decir, como una pieza que no es capaz de soportar momentos ni fuerzas de compresión.

Generalmente las secciones de una vela están definidas por un arco elíptico, el cual queda definido por ciertos parámetros. Al definir un ángulo de entrada, un ángulo de salida, la flecha máxima y la posición de ésta se puede llegar a obtener la forma de la vela a cada altura. Debe tenerse en cuenta que la cuerda en cada sección según altura varía, siendo denominado dicho efecto como torsión. Otras definiciones geométricas específicas de una vela son el alunamiento y el solape.

Se considera alunamiento a la parte de la vela mayor que se encuentra fuera del triángulo definido por la botavara y el tope del mástil. En cuanto al solape, se utiliza para definir la cantidad de vela de proa que vista en perfil se solapa con la mayor.

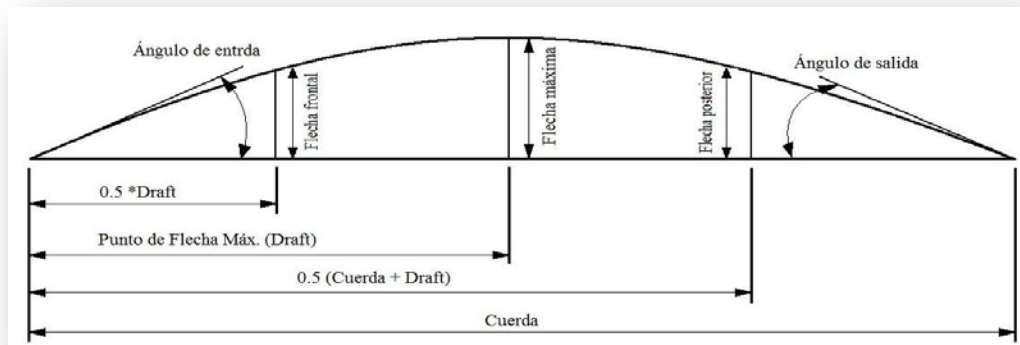


Fig. 2.11.- Geometría de una sección vélica.

© Sail Performance. Ediciones International Marine.

2.3.- Esfuerzos

Para poder diseñar una vela, es necesario conocer los diversos parámetros físicos que se manifiestan en ellas, así como conocer las fuerzas que actúan sobre un velero. Entre ellos se distinguen entre:

- Esfuerzos directos o aerodinámicos.
- Esfuerzos indirectos o mecánicos.

2.3.1.- Fuerzas directas o aerodinámicas

Los esfuerzos soportados por una vela son principalmente aerodinámicos, los cuales dependen de la velocidad de la embarcación. Sin embargo, dichos esfuerzos interactúan con las fuerzas hidrodinámicas generando ángulos y escoras que afectan a la navegación.

Las velas hacen modificar el flujo de aire incidente, y el flujo a su vez, ejerce unas fuerzas sobre la vela (fuerzas aerodinámicas), por lo que modifican la forma de ésta. Para analizar las velas es necesario considerar esta interacción entre el aire y la vela, siendo éste análisis realizado mediante métodos de elementos finitos.

La resultante de dichas fuerzas aerodinámicas forman la fuerza vélica. Dicha fuerza se descompone en dos componentes en el plano YZ, una denominada *fuerza escorante* F_b en el caso aerodinámico, que empuja el velero lateralmente, y la otra *fuerza lateral* F_s en el caso hidrodinámico. Éstas fuerzas, definidas en relación a sus componentes en los ejes Y y Z se denominan *fuerza horizontal escorante* F_{Hlat} y *fuerza horizontal lateral* F_{slat} . Del mismo modo sus componentes verticales son la *fuerza vertical aerodinámica* F_v y la *fuerza vertical hidrodinámica* F_{vw} . Las componentes en el sentido de la marcha se definen como *fuerza Propulsiva* F_D , en perpendicular a la general haciendo avanzar el velero, y en *fuerza Resistencia al avance* R .

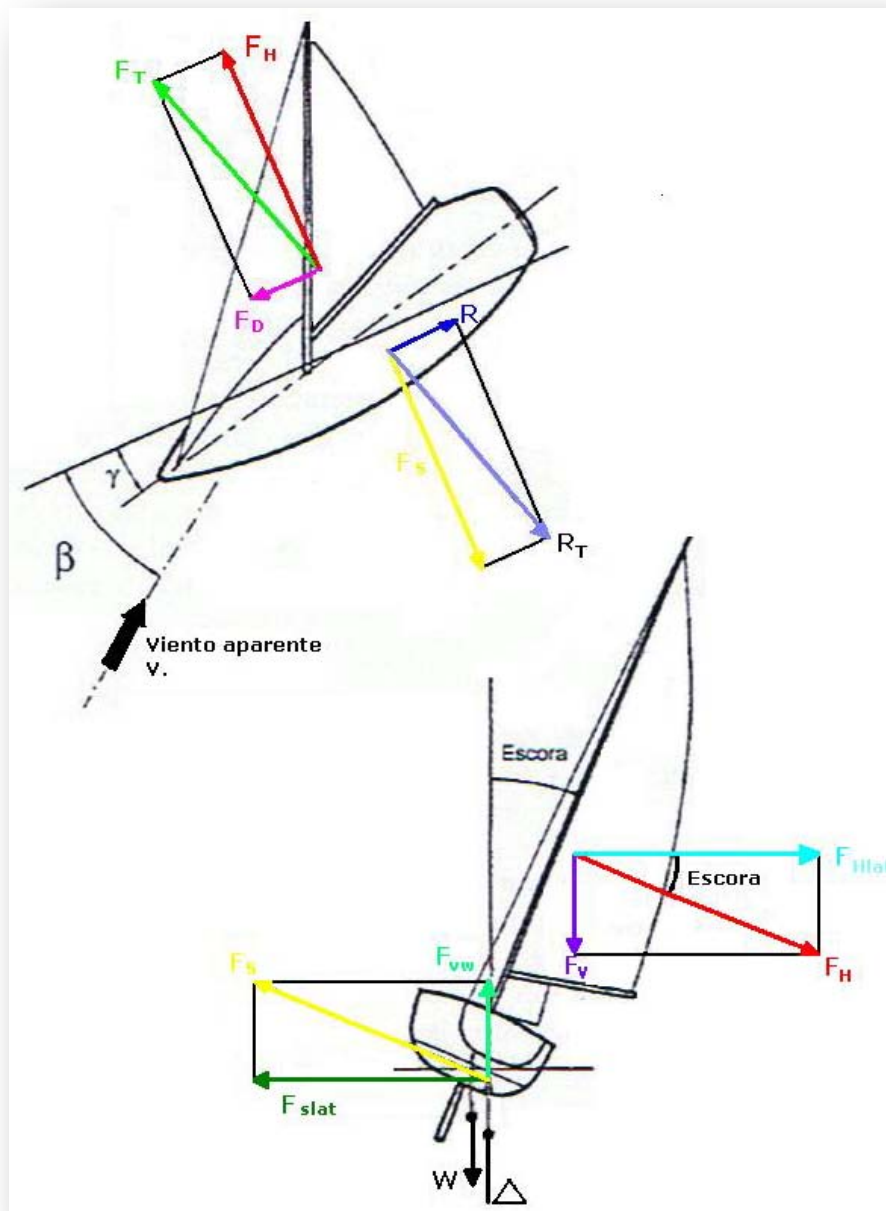


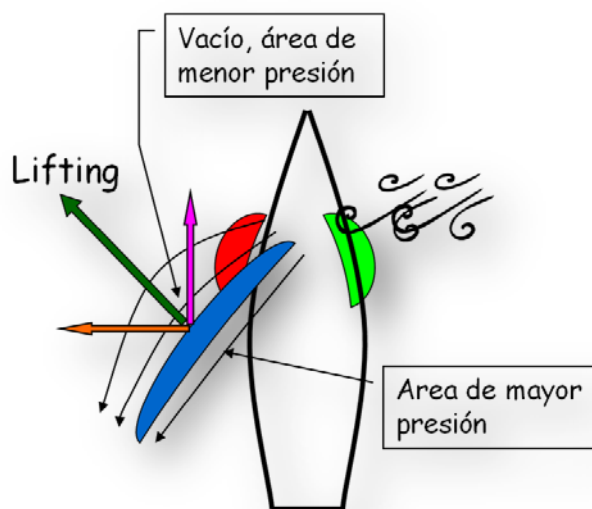
Fig. 2.12.- Fuerzas que actúan sobre un velero.

© Aero-Hydrodynamics . Ediciones Adlard Coles Náutica.

2.3.1.1.-Fuerza propulsiva o de sustentación

La fuerza de sustentación es el parámetro básico de la mecánica de fluidos de un velero. Dicha fuerza es generada por la diferencia de presiones que se genera entre las dos caras de la vela. Esta fuerza de sustentación es la que mantiene el movimiento del velero contra viento.

En 1738, el científico Daniel Bernoulli descubrió que un aumento de la velocidad del flujo del aire en relación con la corriente de aire libre causa una disminución de la presión donde tiene lugar el flujo de aire más rápido. En el caso de las velas, en la cara del lado del viento (barlovento) se produce una presión por la fuerza del viento, formándose en la otra cara (sotavento) una depresión o un efecto de succión, siendo la fuerza de succión mayor que la del viento favoreciendo el movimiento de la embarcación.



El viento se acelera por encima de la vela produciendo una fuerza de "vacío" que la succiona por el otro costado, siendo ésta descompuesta en dos: una fuerza que hace avanzar la embarcación y otra que la empuja lateralmente.

Fig. 2.13.- Ilustración fuerza propulsiva.

© www.mardechile.cl

Dicha depresión o succión es generada por la aceleración de las partículas de aire en la cara oculta a la fuerza del viento. Esta aceleración se debe a que la vela, considerada como un ala, divide el flujo de aire adhiriéndose las partículas de este en la cara convexa de la vela, sin embargo el flujo al otro lado queda separado de la curva, quedando "libre". Pero dicha corriente de aire libre tiende a mantener su flujo recto actuando como una barrera. La combinación de la corriente de aire libre y la curva de la vela crea un canal estrecho a través del cual tiene que viajar el volumen de aire inicial. Como no es compresible por sí solo, las partículas de aire se aceleran para circular por el canal. El flujo de aire en el canal estrecho es más veloz que el aire circundante, y la presión disminuye en ésta área de flujo más veloz.

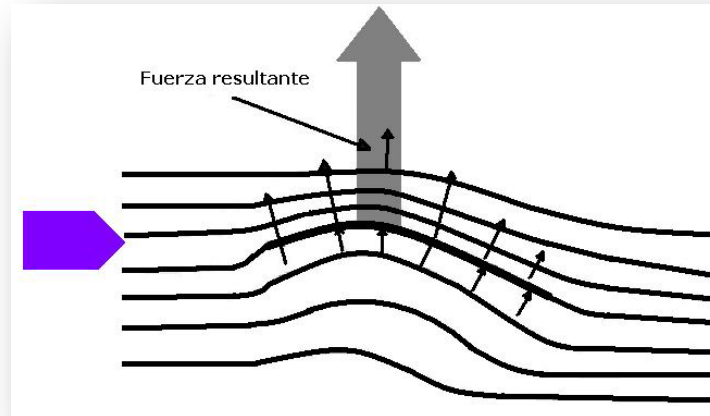


Fig. 2.14.- Fuerzas desarrolladas por la vela en flujo laminar.
 © www.seed.slb.com/es/scictr/watch/sailing/index.htm

Mencionar que dicha fuerza varía en base a la orientación de la vela. Es decir, en función del ángulo de incidencia del viento la vela adquirirá una forma curva u otra favoreciendo la aceleración de las partículas de viento modificando sensiblemente el razonamiento anteriormente descrito. A modo que si la vela está orientada en ángulo con el viento y con los grados “adecuados” la vela embolsa aire y se desarrollan las fuerzas aerodinámicas que promueven el movimiento de la embarcación, en caso contrario éste no se movería.

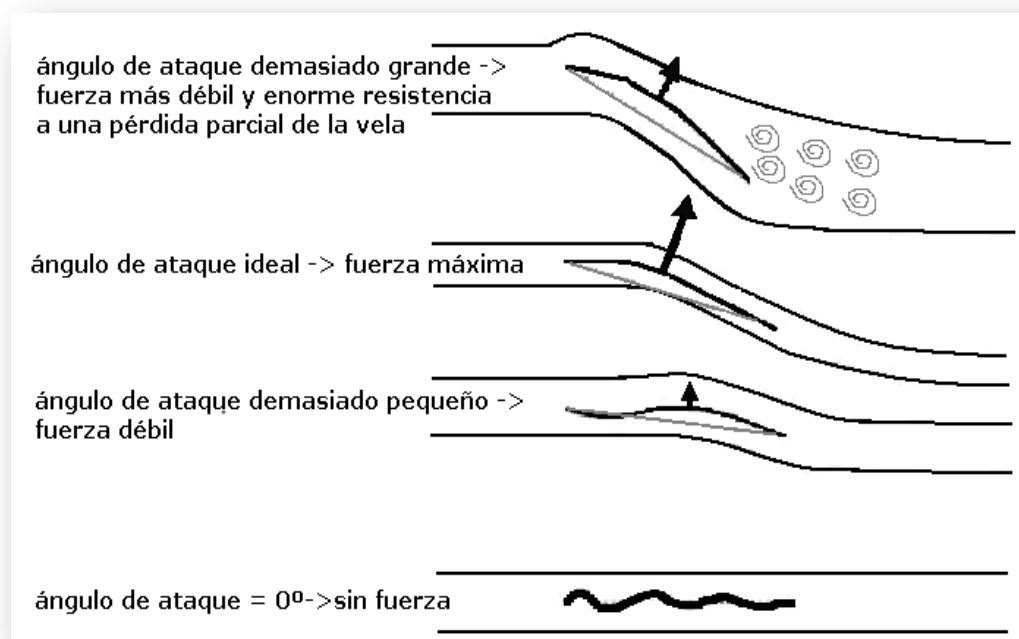


Fig. 2.15.- Influencia del ángulo de ataque.
 © www.seed.slb.com/es/scictr/watch/sailing/index.htm

2.3.1.2.- *Fuerza de resistencia*

Cada fuerza en una vela puede calcularse para determinar la fuerza relativa de sus componentes de avance, escora y resistencia en cualquiera de sus lados. Como las fuerzas de avance, escora y resistencia son las más fuertes la fuerza total que actúa sobre la vela está orientada en una dirección de leve avance, y en su mayor parte en una dirección lateral.

El aumentar la potencia de una vela para adquirir más impulso de avance también genera un aumento mucho más grande de la fuerza de escora. Esto implica al ángulo de ataque de la vela con el viento, y la resistencia al avance que genera la embarcación en el otro fluido que participa: el agua.

Como consecuencia de la incidencia del viento y el oleaje, el velero no se desplaza en la dirección que apunta la proa, sino que es apartado de dicha dirección, constituyendo entre la dirección de la proa y la dirección del rumbo el ángulo de abatimiento.

En ángulo de abatimiento es la resultante de los dos vectores que influyen en el rumbo real del al embarcación. La incidencia del viento provoca el abatimiento y la del oleaje la deriva, siendo la resultante de ambos vectores en dirección e intensidad el ángulo de abatimiento.

Debido al abatimiento la quilla o la orza genera una fuerza lateral en el flujo de agua que contrarresta exactamente la fuerza lateral generada por la vela, favoreciendo el avance de la embarcación hacia proa. Sin embargo la orza también genera una fuerza de resistencia que se opone al avance.

La línea central, o quilla, de la embarcación actúa contra el agua de una manera semejante a la de la vela contra el viento. La quilla produce una fuerza que se opone a la fuerza de escora de la vela y evita que la embarcación se mueva solamente en dirección a la fuerza de la vela. Y aunque la fuerza total de la vela siempre está sobre el lateral cuando se navega hacia el viento, un correcto ángulo de ataque hará mover la embarcación hacia adelante.

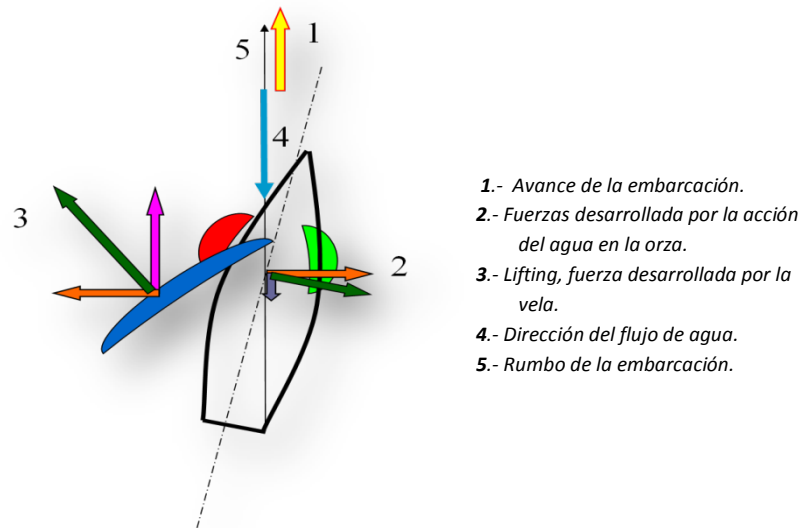


Fig. 2.16.- Fuerzas que actúan en un bote al navegar.

© www.mardechile.cl

2.3.1.3.- Campo de presiones y velocidades

El viento incidente es modificado por la velocidad del barco creando un “viento aparente”. Dicho viento aparente es el que actúa sobre las velas y el necesario para el cálculo de las fuerzas aerodinámicas. Para calcular el viento aparente se utiliza una simple suma vectorial denominada triángulo de velocidades. Dicho triángulo define la magnitud del viento aparente V_a y su ángulo respecto a la embarcación a partir del viento real V_T y del ángulo con la dirección de la marcha.

Una apreciación importante es que el ángulo del viento aparente varía con la altura, produciéndose un gradiente vertical de velocidades. Al ser el viento aparente una combinación del viento real y de la velocidad del barco también se define un cambio de dirección del viento aparente con la altura.

La fuerza vélica, que es la resultante de las fuerzas aerodinámicas, sostiene el movimiento de la embarcación. No obstante el equilibrio de las velas resulta afectado por el valor de la fuerza y por el lugar donde se aplica. El punto de aplicación de dicha fuerza no es el centro geométrico de la vela, debido a que éste se desplaza con el reparto de las presiones.

En cada punto de la vela se ejercen de manera perpendicular a ese punto diferentes fuerzas de sobrepresiones relativas dónde las velocidades son más débiles que las del viento aparente, y de sub-presiones donde las velocidades son

superiores a la del viento aparente. Dicho campo de presiones está ligado con la ralentización y/o aceleraciones del flujo.

La mayor fuerza se encuentra en la profundidad de la cuerda, es decir, dónde la profundidad de la curva es más pronunciada. En dicho punto es donde el aire fluye con mayor velocidad disminuyendo así la presión. La fuerza se debilita a medida que el aire se desplaza hacia la parte posterior de la vela y se separa de la membrana. La dirección de dichas fuerzas también cambia.

Las fuerzas mayores se hallan orientadas en la dirección de mayor avance. En la parte central de la vela la fuerza cambia orientada en una dirección lateral o inclinada. En la parte posterior de la vela la fuerza se debilita a medida que la velocidad del viento disminuye y provoca una dirección de retroceso o de resistencia.

Dicho campo de presiones debe ser considerado, debido a que en el momento en que se produzca un desvío de presión entre las dos caras de la vela, el material de ésta tenderá a desplazarse de las altas presiones hacia las bajas presiones, deformándose, y disminuyendo el rendimiento de la vela.

Debe ser recordado que las presiones son proporcionalmente al cuadrado de las velocidades. De ello pueden derivarse grandes transformaciones según la fuerza del viento y el rumbo.

Un ejemplo numérico¹⁰:

Al nivel del mar la presión del aire es de aproximadamente 98 kN/m^2 . Cuando el flujo de aire aumenta en el costado de sotavento, la presión del aire disminuye, en aproximadamente -196 N/m^2 . Del mismo modo, la presión del aire en el lado de barlovento aumenta en 98 N/m^2 , puesto en conocimiento que la presión de atracción es más fuerte que la presión de empuje. Sin embargo, aunque la presión de sotavento sea negativa y la de barlovento sea positiva, ambas trabajan en la misma dirección, resultando un total de 294 N/m^2 . Dicho valor se multiplica por la superficie de la vela, en este caso se establece una superficie de 10 m^2 , obteniéndose una fuerza total que actúa sobre la vela de $2,94 \text{ kN/m}^2$.

¹⁰ A título informativo 1 Kgf (kilogramo-fuerza) es equivalente a $9,8 \text{ N}$ (Newton).

2.3.2.- Esfuerzos indirectos o mecánicos

Las fuerzas aerodinámicas se transmiten sobre el conjunto del aparejo y sobre las cualidades propias de cada material, es decir, las tensiones aerodinámicas repercuten sobre el contorno de la vela.

La jarcia y/o aparejo es un elemento rígido que resiste mejor o peor los esfuerzos ejercidos por la vela como reacción a la fuerza vélica. Ofrece una resistencia a objeto de mantener la forma y posición de la superficie vélica, siendo éstos esfuerzos indirectos ejercidos sobre la vela creando tensiones indirectas, las cuales son las más importantes para el material de una vela. Los esfuerzos directos e indirectos se superponen y son asimilados por el trabajo de la vela.



Fig. 2.17.- Analogía de la propagación de las fuerzas.

© Las velas. Ediciones Juventud.

2.3.2.1.- Para la vela mayor

En el contorno de la vela, las fuerzas combinadas pueden descomponerse en fuerzas paralelas y perpendiculares.

Para la vela mayor se dispone de dos puntos de sujeción resistentes: el mástil y la botavara. Por estos dos puntos las fuerzas paralelas están controladas por la tensión de las eslingas, y las fuerzas perpendiculares controladas por la relativa sujeción de la jarcia. En cambio, sobre la baluma, las fuerzas perpendiculares no tienen fijación alguna.

La tensión de la baluma crece rápidamente con la fuerza del viento, la voluntad y la capacidad de controlar la atracción al centro de la vela y el embolsamiento de la baluma. En una vela clásica se estima que para su utilización, la tensión necesaria para el control de la baluma está próxima a la fuerza vélica total de la vela. El 60 % de los esfuerzos totales percibidos por los materiales se concentran en el tercio trasero de la vela.

2.3.2.2.- Para el foque

El foque dispone de un punto de sujeción resistente denominado grátil, el cual actúa en función de la sujeción del estay de proa, y se opone a los esfuerzos perpendiculares. La baluma y el pujamen solamente se mantienen por la tensión ejercida en el puño de escota. Dicha tensión puede ser considerable, alcanzando un valor aproximadamente 1,5 veces la fuerza vélica aplicada.

Aplicando un estudio general los principales esfuerzos a los que queda sometida una vela parten de tres ángulos, de los tres puños de fijación de la vela.

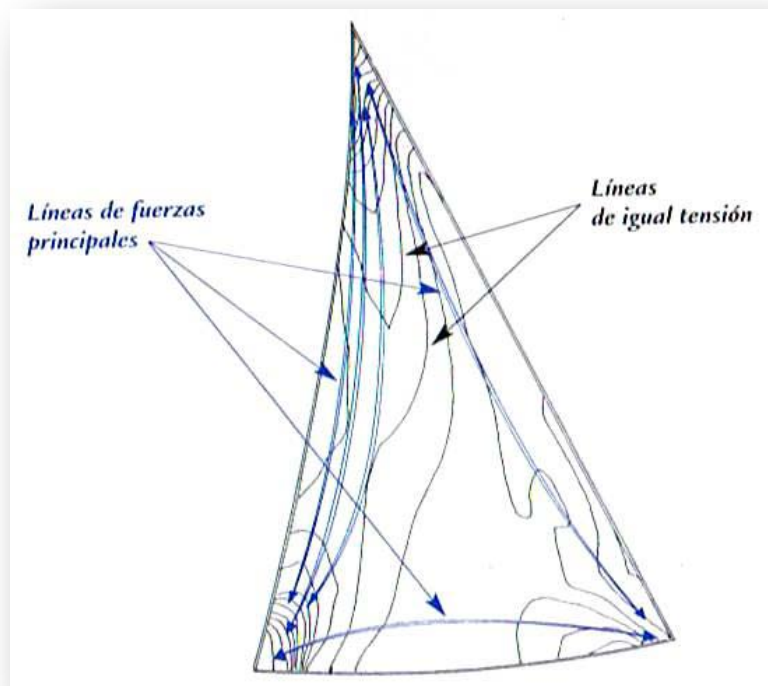


Fig. 2.18.- Principales líneas de fuerza, siendo las tensiones más fuertes aquellas que unen el puño de driza al puño de escota.

© Las velas: comprensión, trimado y optimización. Ediciones Juventud.

2.3.3.- Estudio global

La perspectiva global implica tener en cuenta un cierto número de variables. La composición de las velas depende de los siguientes aspectos:

2.3.3.1.- La curvatura y el volumen

La fuerza aerodinámica que se ejerce en un punto de la superficie de la vela puede descomponerse en tangentes a dicha superficie. A partir de este esquema, para una misma fuerza aplicada, cuanto menor sea el radio de curvatura, tanto más importantes son los esfuerzos dentro del material, es decir, las tensiones en el material son más fuertes en cuanto las curvas estén más tensas.

2.3.3.2.- Los reglajes

Avanzar o retroceder un puño de escota modifica la orientación de los tres ejes mayores. Tensar la driza o la escota también repercute en mayor o menor medida sobre la vela. El mantenimiento de la forma de una vela se efectúa a través del tejido más o menos fuerte del material.

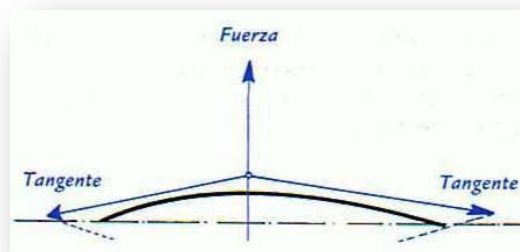


Fig. 2.19.- Valor de la fuerza dependiendo de la curvatura.
© Las velas: comprensión, trimado y optimización. Ediciones Juventud.

2.3.3.3.- Las proporciones

Las diferencias geométricas de las velas quedan definidas por los diseños, la construcción y los materiales de las mismas, así como del tipo de embarcación a la que están destinadas a trabajar. Cada barco necesitará una superficie vélica en función de las dimensiones y forma de la embarcación, potencia requerida, etc.

2.3.3.4.- Los materiales

La elección de los materiales, en función de su módulo de elasticidad y su proceso de elaboración, facilitan la orientación de las fibras en función de las líneas de los esfuerzos principales.

3.- Los materiales

En apenas medio siglo, los avances tecnológicos han favorecido la aparición de nuevos materiales, encontrando en el mercado una gran diversidad de material sintético para la elaboración de velas¹¹. Sin embargo, las materias primas utilizadas no son tan diversas y/o complejas, si se obvia el nombre comercial o marca adjudicada por los fabricantes de polímeros se pueden clasificar dichos materiales en cuatro grandes grupos: **poliéster** (Dracon, Tergal, Teteron, Tetiral, Trevira o Terlenka, Mylar, Vectran, Pentex,...), **poliamidas** (Nylon), **aramidas** (Kevlar, Twaron, Technora,...) y **carbono**.

3.1.- Las fibras

Las fibras son los filamentos obtenidos químicamente que forman los tejidos. Son el elemento principal, encargadas de resistir y soportar las tensiones de la vela. Hoy en día se utilizan una gran cantidad de fibras sintéticas, cada una de ellas con propiedades y características distintas.

3.1.1.- El poliéster

El término poliéster se refiere a los plásticos provenientes de fracciones pesadas del petróleo. El poliéster es un plástico reforzado termostable, es decir una resina. Su estado inicial es líquido y viscoso, que por efecto de una reacción de endurecimiento pasa por un estado de gel y se transforma en un sólido. Según el grado de reticulación se define la fragilidad y resistencia del producto final. El poliéster ($C_{10}H_8O_4$), es una categoría de polímero que contiene el grupo funcional éster en su cadena principal.

3.1.1.1.- Propiedades generales

En líneas generales presenta una alta resistencia al desgarre y a la abrasión, una alta recuperación elástica, una alta estabilidad térmica y posee buenas propiedades como aislante térmico y eléctrico. Es muy resistente a la humedad, a los productos químicos y a las fuerzas mecánicas.

11 Ver Anexo II "Fibras químicas".

3.1.1.1.- Prestaciones para las velas

El poliéster es reconocido por su fuerza, su alta resistencia a la flexión y longevidad, así como su bajo coste. No obstante, el inconveniente más destacado es su elasticidad, comparada con otras fibras.

3.1.1.3.- Tipos principales

- **DRACON ®**: Poliéster registrado por la firma Dupont. Usualmente utilizadas para la obtención de tejido y laminados para embarcaciones de recreo.
- **PENTEX ®**: Es una evolución del *Dracon*, multiplica por 2,5 las prestaciones a la deformación bajo tensión del poliéster, pero su coste es mayor.
- **VECTRAN ®**: Polímero de cristales líquidos de la firma Hoechst. Multiplica por 5 las prestaciones del *Dracon*. Se utiliza en los laminados para los hilos diagonales y transversales. Soporta bien los UV y posee una alta resistencia a la flexión (flameo). Como inconveniente se destaca su alta sensibilidad a los rayos ultravioletas.

3.1.2.- Las poliamidas

Las poliamidas $[-CONH-]_n$, son una categoría de polímeros que contiene el grupo funcional amidas en su cadena principal. Los grupos amida son un compuesto orgánico derivado de un ácido carboxílico.

3.1.2.1.- Propiedades generales

Las poliamidas poseen buena resistencia mecánica, tenacidad y resistencia al desgaste. Sin embargo, absorben y despiden humedad de forma reversible, lo cual implica una alteración de sus propiedades.

Las poliamidas presentan unas propiedades físicas próximas a las de los metales como la resistencia a la tracción entre 400-600 Kg/cm², dependiendo del tipo, cristalinidad y del contenido en agua. Poseen una buena resistencia química, dureza, capacidad de amortiguación a golpes y vibraciones, y son de fácil moldeo. Capaces de resistir temperaturas de trabajo de hasta 1200 °C.

3.1.2.2.- Prestaciones para las velas

Las poliamidas son reconocidas por su ligereza, su fuerza y su coste. Son fibras con un cierto grado de elasticidad que favorece la capacidad de absorción durante picos de carga máxima en las velas.

3.1.2.3.- Tipos principales

- **NYLON ®:** Comparado con las fibras de poliéster posee una mayor tenacidad (más resistente a la rotura). Permite ser hilada de modo muy fino obteniendo así tejidos muy ligeros, y no le afectan los pliegues. No obstante, es sensible a los rayos ultravioletas, a la humedad y a los productos químicos.

3.1.3.- Las aramidas

La palabra aramida es una abreviación del término “*aromatic polyamide*”, que designa una categoría de fibra sintética. La fibra de aramida se obtiene cortando una solución de polímero a través de una hiladora y poseen propiedades de flexión y de compresión débiles. Las aramidas (C_nH_n) son un tipo de poliamidas que contienen grupos aromáticos en su cadena principal.

3.1.3.1.- Propiedades generales

La fibra de aramida posee una estabilidad térmica alta, una alta resistencia y una alta rigidez debido a las uniones fuertemente organizadas del polímero semicristalino. Las fibras son bastante duras y resistentes a tracción longitudinal, y poseen una buena resistencia al impacto. La temperatura de utilización oscila entre los -200 °C y los +200 °C, pero la oxidación limita su utilización a +150°C.

3.1.3.2.- Prestaciones para las velas

Las fibras de aramida son reconocidas por su ligereza, mayor que en los tejidos de poliéster. Sin embargo, son muy sensibles a los rayos ultravioletas y ofrecen una menor resistencia a la flexión (flameo).

3.1.3.3.- Tipos principales

- *KEVLAR* ®: Aramida registrada por la firma Dupont, comúnmente conocida como K49, es nueve veces mejor que el poliéster. Es una fibra con muy buena relación prestaciones/precio. Soporta mal los rayos ultravioletas y la flexión.
- *TECHNORA BLACK* ®: Aramida registrada por el Grupo Teijin, 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 bien los rayos ultravioletas y la flexión, aunque se degrada más rápidamente que el *Kevlar*.
- *TWARON* ®: Aramida registrada por la firma Akzo Nobel. Ofrece unas prestaciones 9/10 veces mejores que las del poliéster. Es una fibra muy similar al *Kevlar*.
- *SPECTRA*® o *DYNEEMA*®: Aramida registrada por la firma Allied Signal (USA) y la firma DSM (Holanda), respectivamente. Es un material casi ideal, posee muy buena resistencia al estiramiento. Ofrece unas prestaciones 12 veces mejores que el poliéster, a la rotura bajo tensión, a los rayos ultravioletas y a la flexión. El inconveniente es que en las velas de competición al recibir una tensión continuada se deforma y no recupera completamente su forma original.
- *PBO* ® o *ZYLON*®: Aramida registrada por la firma Toyobo (Japón). La resistencia a la deformación respecto al poliéster, es superior en 18,5 veces, pero tiene un alto coste. Dispone de un punto de rotura, bajo tensión, muy bueno, pero su resistencia a la fatiga y a los rayos ultravioletas es débil.

3.1.4.- El carbono

En realidad se denomina fibra de carbono (C_n) a un compuesto no metálico de tipo polimérico, cuya materia prima es el poliacrilonitrilo. Cada filamento de carbono está compuesto a su vez de miles de filamentos de entre 5-8 micrómetros de carbono. La estructura atómica del carbono consiste en láminas de átomos de carbono arreglados en un patrón amorfo, es decir, las hojas de átomos están acomodadas de forma irregular, lo cual le proporciona una gran resistencia mecánica.

3.1.4.1.- Propiedades generales

Posee una elevada resistencia mecánica con un módulo de elasticidad elevado. Una buena resistencia a agentes externos y gran capacidad de aislamiento térmico, así como una buena resistencia a las variaciones de temperatura conservando su forma y buenas propiedades ignífugas. Es un material de baja densidad.

3.1.4.2.- Prestaciones para las velas

Es un material muy ligero que posee una excepcional resistencia a la elongación, resistencia a los rayos ultravioletas y tenacidad. Multiplica 14/19 veces las propiedades del poliéster. El mayor inconveniente es su débil resistencia a la flexión. Por ello se usa en forma de cintas de filamentos unidireccionales y no en fibras tejidas.

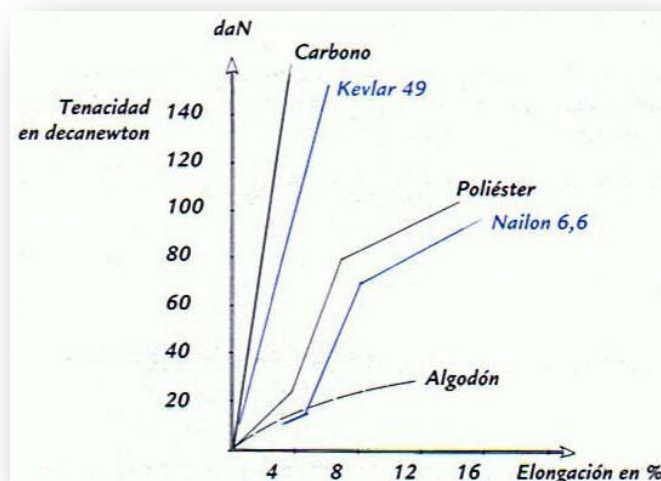


Fig. 3.1.- Gráfico comparativo de la fuerza/alargamiento de diversas fibras utilizadas en velería.

© Las velas: comprensión, trimado y optimización. Ediciones Juventud.

3.2.- Los tejidos

Una vez fabricado el hilo con determinadas propiedades específicas, se confecciona el tejido mediante el entrecruzamiento de los hilos, generalmente en ángulo recto. Esta estructura orientada longitudinal y transversalmente ofrece dos ejes de resistencia privilegiados, según los hilos de la trama (ancho de la pieza) y la urdimbre (largo de la pieza). En cambio, la resistencia a la deformación es débil sobre la bisectriz del ángulo formado por el cruzamiento de los hilos (diagonal).

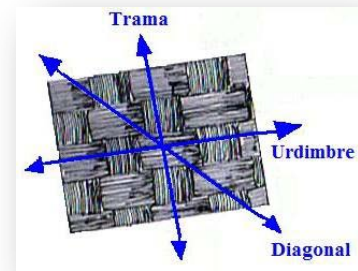


Fig. 3.2.- Principales ejes de resistencia.
© Las velas: comprensión, trimado y optimización.

El comportamiento de los tejidos es similar en sentido longitudinal o transversal, pudiendo variar en función del grosor del hilo empleado en la trama o la urdimbre o en la disposición de éstos. Resultando que los tejidos, por su propia construcción, sufren deformaciones distintas a la tracción en el sentido longitudinal (urdimbre), transversal (trama) y diagonal (bies).

Por ejemplo los hilos que componen la trama, de mayor grosor, ofrecen una buena resistencia a la deformación. Los hilos de urdimbre, debido a que “tejen” la trama, serán de menor grosor, ofreciendo una menor resistencia a la deformación.

Esta particularidad de los tejidos debe tenerse en cuenta en el momento de la confección de las velas, disponiendo así la trama en el sentido de las tensiones más fuertes, es decir, orientado en la dirección de máxima tensión que se sitúa en la baluma.

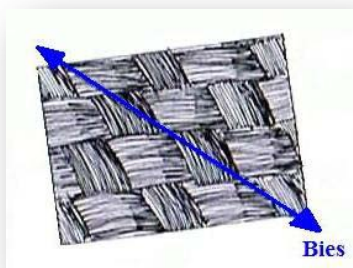


Fig. 3.3.- Bisectriz del ángulo formado entre los hilos, la diagonal, bies.

© Las velas: comprensión, trimado y optimización.

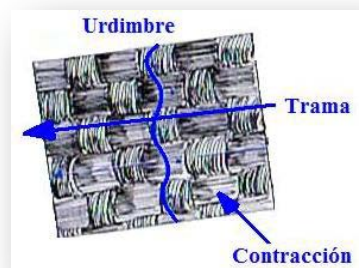


Fig. 3.4.- La sobre tensión de los hilos de la trama obliga a ondulaciones forzadas en la urdimbre.¹²

© Las velas: comprensión, trimado y optimización.

¹² Contracción es la diferencia de longitud entre el hilo deformado y el hilo rectilíneo.

3.2.1.- Fabricación y acabado de los tejidos

En el diseño de los tejidos, los factores a tener en cuenta, son el tipo de fibra hilada a utilizar, la construcción y/o distribución de la misma, así como el tratamiento químico, la tensión utilizada en el proceso de tejeduría, y el acabado del mismo.

En el proceso de fabricación de los tejidos tiene una gran importancia el proceso de calentamiento, debido a que el resultado de someter el tejido a temperaturas próximas a los 200 grados centígrados, es la obtención de un entramado más compacto alcanzando una reducción del 20% de la superficie. Dicho compactado, imposible de obtener mecánicamente al tejer, proporciona una disminución de la elasticidad, bloqueando así la estructura y limitando la deformación en bias.

En el proceso final de la fabricación de los tejidos se halla el calandrado, un procedimiento mediante el cual el tejido es sometido a una gran presión entre rodillos metálicos y calientes, a objeto de eliminar la posible porosidad existente.

3.2.1.1.- Tejidos impregnados

La evolución de los tejidos se dio con la aplicación de materiales de relleno en los mismos a objeto de disminuir el movimiento entre los hilos, reduciendo consecuentemente la deformación en diagonal.

Durante el proceso de calentamiento de la pieza tejida, ésta es sumergida en una solución de melamina¹³, químicamente similar al hilo empleado en el tejido, a condiciones de temperatura, presión y tiempo determinadas. Al calentarlo, los materiales se unen molecularmente, formando fibras mucho más resistentes al estiramiento en diagonal.

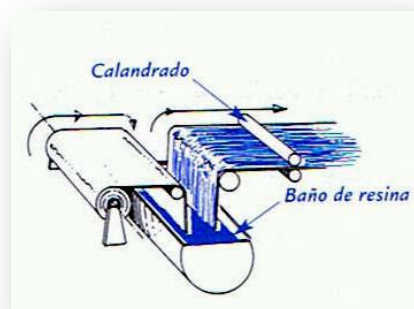


Fig. 3.5.- La impregnación, un baño de resina.
© Las velas: comprensión, trimado y optimización.

¹³ Es la molécula orgánica que se utiliza como base en los procesos de síntesis para fabricar resinas, plásticos o pegamentos.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gran flexibilidad. ▪ Manipulación sin consecuencias. ▪ Escaso cuidado para el plegado y guardado. ▪ Buena resistencia al flameo, al rozamiento, a la mayor parte de agente químicos y a la rotura. ▪ Tolerancia a los cambios de curvatura del aparejo. ▪ Aptitud de las fibras a recolocarse después del deslizamiento bajo carga. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mala resistencia al bias. ▪ Deslizamiento fibras no favorable. ▪ Deformaciones instantáneas se vuelven permanentes.

Tabla. 3.1.- Ventajas e inconvenientes de los tejidos impregnados.

Uso: Para velas de crucero y embarcaciones registradas en lista 6ª. Según el grado de impregnación, se admiten para regatas con aparejos flexibles sin obenques y en algunos pequeños sloops.

3.2.1.2.- Tejidos revestidos

Posteriormente, la búsqueda para la obtención de una mayor estabilidad dimensional, promovió la aplicación de los revestimientos, con el fin de disminuir aún más la deformación en bias, manteniendo el longitudinal, transversal y la forma de la vela.

El revestimiento en una ligera capa de solución uretanada¹⁴ introducida a la fuerza sobre la superficie del tejido ya impregnado, mediante una cuchilla caliente que lo comprime. El revestimiento rellena los pequeños poros o porosidades presentes en el tejido, obteniendo un acabado uniforme en la tela.

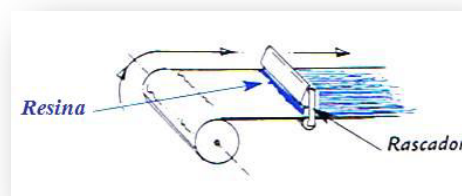


Fig. 3.6.- El revestimiento consiste en una fina capa de resina vertida, como tela encerada.
© Las velas: comprensión, trimado y optimización.

¹⁴ Que contiene moléculas de Uretano, compuesto orgánico que se utiliza para la obtención de polímeros termostables y termoplásticos.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muy buena estabilidad dimensional. ▪ Signos de envejecimiento visibles. ▪ Buena resistencia agentes químicos. ▪ Baja absorción de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rigidez del tejido. ▪ Sensibilidad al rozamiento. ▪ Fragilidad al flameo. ▪ Facilidad de desgarrar y/o dificultad de mantener la forma. ▪ Fragilidad al plegado de la vela.

Tabla. 3.2.- Ventajas e inconvenientes de los tejidos revestidos.

Uso: Para velas de crucero o de regata de pocas unidades, principalmente donde los compuestos están prohibidos o penalizados.

Los tratamientos de revestimiento, empleados en la actualidad, se encuentran más comúnmente en aquellas velas destinadas a la competición, debido a que se consigue mejorar la resistencia a la deformación notablemente, reduciendo por el contrario la vida de éstas. La propia rigidez que poseen, supone que una vez deformada o sometida a fuerzas superiores a las de diseño, las velas, se deterioran.

3.3.- Los compuestos o laminados

Debido a que los tejidos convencionales son un entrecruzado de hilos uno a uno, éstos siempre poseerán un cierto grado de estiramiento, aunque los métodos aplicados en la obtención de telares hayan contribuido a la disminución de la deformación en diagonal. Es por ello que partiendo del estudio determinado del origen de las fibras de poliéster se observó que la orientación lineal de las moléculas no contribuía a la eliminación del estiramiento, creándose posteriormente un material aparentemente parecido pero con una orientación molecular en todas direcciones, permitiendo así obtener una superficie uniforme y homogénea con igual estiramiento en todas sus direcciones.

La aparición de ésta superficie uniforme, denominada *film*, inicialmente fue insuficiente, debido a que las láminas por si solas son demasiado frágiles.

La búsqueda de materiales que permitieran mantener la estabilidad en la forma de la vela, durante la década de los ochenta, junto con los estudios realizados sobre el origen de los materiales utilizados en los tejidos, dieron lugar a la aparición de los tejidos compuestos o laminados¹⁵.

¹⁵ Material cuya estructura está formada de láminas u hojas sobrepuestas y paralelamente colocadas.

El concepto de material compuesto reside en la elección de un sistema de matriz adecuado y su asociación con fibras de refuerzo, obteniéndose como resultado un nuevo material con cualidades diferentes que no son alcanzables por cada uno de los materiales predecesores de manera aislada.

Se define como material compuesto todo sistema o combinación de materiales constituido a partir de la unión (no química, insolubles entre sí) de dos o más componentes, que da lugar a uno nuevo con propiedades y características específicas. Las propiedades del nuevo material dependen, entonces del tipo de interfase y de las características de los componentes.

Dichos tejidos consisten en el ensamblaje por pegado de los hilos tejidos o dispuestos ordenadamente, sobre una o dos películas de poliéster. Esta película o *film* de poliéster, isotrópica, bloquea las distorsiones y sobre todo asegura la deformación en bias (diagonal), proporcionando una muy buena resistencia a la deformación y una mayor ligereza.

La evolución de los primeros laminados se desarrolló en base a la generación de materiales formados por:

- Hilos gruesos y rectos, dispuestos en el sentido de las tensiones máximas.
- Hilos transversales a las tensiones máximas, proporcionando resistencia al rasgado.
- Hilos dispuestos diagonalmente mejorando así la resistencia al bias.

Y todo ello aglutinado entre dos películas de poliéster.

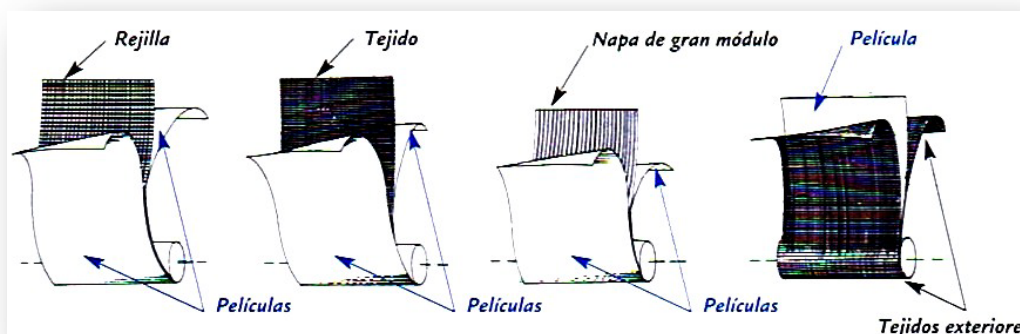


Fig. 3.7.- Tipos de laminados. Los materiales compuestos permiten el empleo de fibras en rejilla, en napa, o en tejidos.

© Las velas: comprensión, trimado y optimización.

No obstante, partiendo de la idea de estabilizar uniformemente el compuesto, se ha dado un gran interés en privilegiar un eje de resistencia, procediéndose al corte radial en paneles, pudiéndose de este modo orientar el eje de resistencia siguiendo las grandes líneas de esfuerzo.

Dicho corte permite a su vez utilizar el gramaje de material más adecuado en cada zona de la vela.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Excelente relación tenacidad/peso. ▪ Baja adsorción de humedad. ▪ Signos de mal reglaje bien visibles. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Material rígido y poco manipulable. ▪ Pliegues marcados. ▪ Fragilidad al flameo. ▪ Sensibilidad al rozamiento. ▪ Fragilidad al flameo. ▪ Coste.

Tabla. 3.3.- Ventajas e inconvenientes de los laminados.

Uso: Para velas de crucero o de regata de pocas unidades, principalmente donde los compuestos están prohibidos o penalizados.

Las velas laminadas consisten en definitiva en una especie de sándwich de fibras sobre una superficie/lámina plástica. Los hilos de fibra aportan la rigidez del material compuesto y permiten que la vela no se deforme a pesar de las fuertes presiones ejercidas por el viento, mientras que la lámina asegura la estanqueidad. Las velas elaboradas con materiales compuestos adquieren mayor durabilidad, mayor calidad y mayor ligereza respecto a la vela clásica.

En conclusión los principales componentes para la elaboración de los laminados son las fibras, los films y la cola para unir todo.

3.3.1.- Tipos de laminado

Indistintamente a los diversos gruesos o pesos de los materiales laminados, según las fuerzas a los que están destinados a soportar, se pueden distinguir tres tipos distintos de laminado.

3.3.1.1.- *Simples (Triplay)*

Formados por un compuesto de distintas fibras colocadas longitudinalmente, transversalmente y radialmente, a diferencia de 90 grados, encoladas entre dos films. Es un tipo de material compuesto muy ligero pero poco duradero.

3.3.1.2.- Taffeta

En el momento en que se requiere alargar la vida de la vela, aunque se deba incrementar el peso de la misma, se utilizará el laminado simple pero con un tejido de gramaje muy ligero llamado “*taffeta*” adherido a una cara.

3.3.1.3.- Sándwich

Consiste en un laminado de “*taffeta*” adherido a cada lado del material. Se obtienen velas de corte radial con muy buenas prestaciones, sin afectar a la durabilidad, aspecto o tacto.

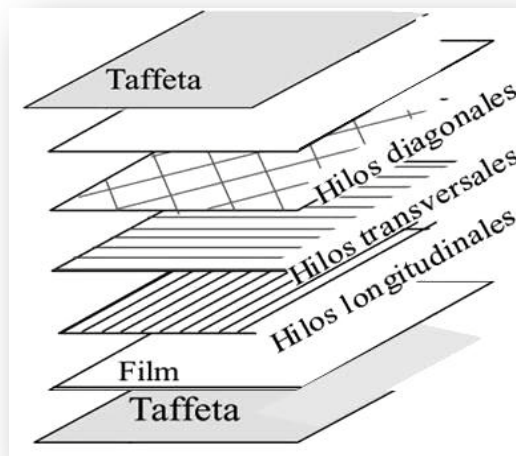


Fig. 3.8.- Disposición de las fibras y films de poliéster en los materiales compuestos.

© www.depoorter.com

3.3.1.4.- Cuben fiber

Es otro tipo de material compuesto elaborado por la firma Cuben Fiber Corporation (Arizona-USA), consta de un laminado a base de capas muy finas de filamentos no tejidos de *Spectra*, *carbono* e incluso *Dracon* y *Pen* dispuestos en el sentido de esfuerzo de la vela, las cuales en vez de laminarlas con films encolados, las fibras se impregnan con resina de *Tedlar*¹⁶. El resultado es una especie de estratificado de fibras muy delgado y ligero con unas características de deformidad y duración muy buenas.

¹⁶ Resina epoxi, registrada por la firma Du Pont, con excelentes propiedades.

3.3.2.- Films o películas

Son una película fina de polímero de poliéster. El film es el responsable de cerrar el paso del viento a través del enrejado de fibras y de servir de base para poder fijar las fibras en la posición deseada. Asimismo ayuda a soportar las tensiones que cruzan inclinadas (bías) todas las fibras.

- **MYLAR®**: Es el nombre comercial de Du Pont de lámina de poliéster (PET). Suele tener un espesor de entre 20 50 micras según el laminado. Protege de los rayos ultravioletas, pero se deteriora fácilmente. Se usa sin fibras en las velas de windsurf, las cuales son transparentes, bajo el nombre de *monofilm*.
- **MAGNA SHIELD®**: Film de color (naranja) que absorbe hasta un 75% de los rayos ultravioletas.

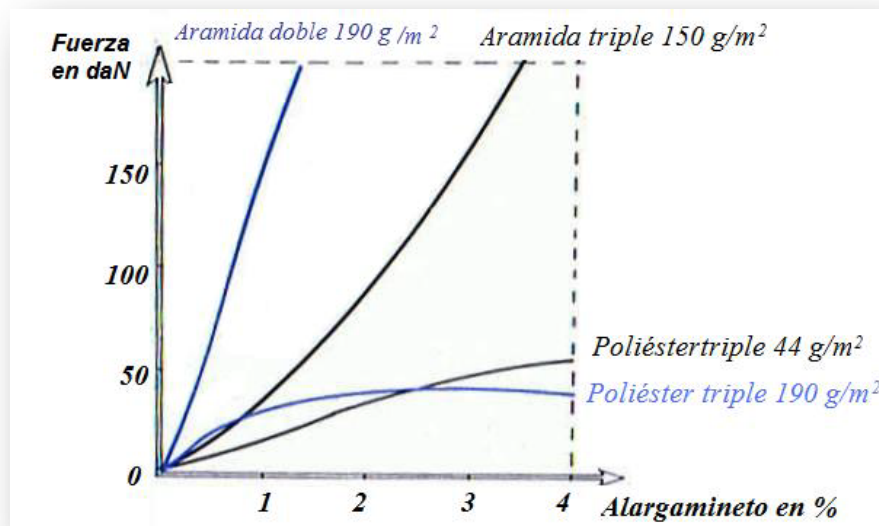


Fig. 3.9.- Gráfico comparativo de la resistencia y del alargamiento de diversos materiales compuestos.

© Las velas: comprensión, trimado y optimización.

3.4.- Propiedades físicas requeridas

Las velas son perfiles delgados que tienen el ancho del material que los compone y conviene que la vela sea adaptable, intercambiable, manipulable y de fácil estiba. Expuestas las funciones que debe realizar una vela, cabe definir las propiedades físicas que los materiales y fibras deben cumplir.

Hace falta un material muy sólido, capaz de absorber la fuerza del viento, ligero, con una buena relación resistencia/peso, que no se deteriore mucho por la acción de los rayos ultravioletas, de la abrasión, del moho y que absorba poca humedad. Según el programa para el cual va destinada la vela y al tipo de embarcación, se requieren horas de estudio, optimización y diseño siendo más o menos estrictos los criterios a seguir. Las principales características y propiedades físicas a tener en cuenta son las siguientes:

3.4.1.- Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad se define como la facilidad con que un material se deforma. Es la elongación del material antes de romperse, representado en porcentaje respecto a la longitud inicial del mismo.

Los materiales utilizados para la confección de velas deben poseer un módulo de elasticidad elevado, es decir, el tejido debe tener una buena resistencia a la deformación bajo cualquier carga.

3.4.2.- Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción o tenacidad viene representada por la carga que se debe aplicar para que un material/fibra rompa. Es el parámetro que indica el valor de la fuerza en que rompe la vela.

3.4.3.- Límite elástico

El límite de elasticidad es un indicativo del valor de la carga, por debajo del cual, el material vuelve a su forma original sin deformaciones permanentes.

Para los nuevos tejidos y materiales el límite de elasticidad es de gran importancia para determinar el rango de fuerzas del viento que la vela es capaz de soportar, debido a que

si ésta es sometida a fuerzas mayores a las establecidas por el límite de elasticidad el tejido se deforma permanentemente perdiendo la forma de diseño de la vela y por lo tanto perdiendo rendimiento.

3.4.4.- Flexibilidad

Es la capacidad o la pérdida de resistencia de una fibra después de plegarla en un ciclo de sesenta veces. Es decir, la pérdida de rendimiento a la flexión. Dicho parámetro muestra la capacidad de la vela para soportar, de la mejor manera posible, el plegado, el flameo, y la maniobrabilidad durante la navegación.

3.4.5.- Peso y ligereza

Generalmente las velerías buscan tejidos ligeros dado que a mayor peso en las velas mayor par de escora en el barco. Las velas más ligeras y optimizadas, facilitan el manejo, y la manipulación de las mismas durante las operaciones de guardado y doblado de la vela. Asimismo las velas ligeras, en grandes regatas, ayudan a minimizar el peso de la embarcación para que esta sea más ligera y veloz, alcanzando el perfil deseado con mayor rapidez.

Por ejemplo, el gramaje de las velas elaboradas con poliéster (*Dracon*), para una embarcación de recreo de aproximadamente nueve metros de eslora, es de entre 190-250 gr/m² para la Mayor y de 140-200 gr/m² para la vela de Proa. Alcanzando un peso de entre 3 y 8 kilogramos.

3.4.6.- Absorción de humedad y porosidad

La porosidad en los tejidos permite que el aire se impregne a un lado del mismo, lo que tiende a igualar las presiones en detrimento del empuje y facilita la absorción de humedad.

Los tejidos utilizados en la confección de velas deben poseer un porcentaje bajo de porosidad, dado que la presencia de agua en el mismo aumenta el peso y promueve la ineficiencia de la vela. Cabe mencionar que el material se encuentra en un medio muy corrosivo y éste deberá ser suficientemente resistente a la humedad, salitre y formación de moho.

3.4.7.- Resistencia UV

Además de la humedad, los humos industriales, el calor y el frío, la exposición a los rayos ultravioletas puede afectar a la vela en mayor o menor medida. La resistencia a los rayos ultravioletas es un indicativo del deterioro del material por efecto del sol, es decir, una medida del tiempo transcurrido para que la fibra pierda el 50% de la resistencia a la flexión cuando esta ha sido expuesta al sol.

3.4.8.- Resistencia a las costuras

Cuanto más resistente y más ligero sea desarrollado un material, la facilidad del mismo para soportar las costuras se hace imprescindible. En los materiales más ligeros, el punto de carga creado en las costuras puede dañar el material. Asimismo la elongación sufrida en las costuras puede superar el límite de elasticidad, deformando la vela permanentemente, perdiendo rendimiento y efectividad.

3.4.9.- Resistencia al desgarrar y durabilidad

Los tejidos deben poseer una resistencia al desgarrar y a la abrasión, así como a la fricción y grandes roces contra la jarcia. Característica que prolongará el envejecimiento de la vela. Las fibras modernas son esencialmente muy resistentes, de modo que la durabilidad a menudo suele quedar en segundo plano durante el desarrollo de un determinado tejido.

Así mismo, otro punto a tener en cuenta en mayor o menor medida es el *precio* del material.

Fibra	Tenacidad [kp/cm ²]	Flexibilidad [%]	Resistencia UV	Elongación [%]
PBO	30-44	27	1-1,5 meses	2,5
Carbono	20-40	100	No afecta	1,5
Spectra (Dyneema)	33	No afecta	6-7 meses	5
Kevlar	24-28	25-28	2-3	1,5
Twaron	24	27	2-3	2
Technora	28	7	3-4 meses	4
Vectran	23	15	1-2 meses	2
Pentex	10	No afecta	6-7 meses	5-6
Dracon	5-8	No afecta	6 meses	8
Nylon	9,5	No afecta	3-4 meses	13

Tabla. 3.4.- Cuadro comparativo de las principales características de las fibras utilizadas en velería.

© http://nsweb.itinfo.dk/fr/cloth_fibres.asp

4.- Elaboración de las velas

Durante la postguerra los artesanos fabricaban las velas sobre moldes de yeso, según les permitía el conocimiento y la experiencia. A objeto de orientar lo mejor posible las fibras en el sentido de las tensiones que soportan las velas, se han desarrollado diferentes sistemas para optimizar el rendimiento de éstas, en lo que a soportar tensiones se refiere.

Inicialmente la mayoría de las velas estaban constituidas por ensamblaje de piezas de tejido, denominados comúnmente como paños¹⁷. Dichos paños permiten conseguir la forma deseada, proporcionando volumen a la vela debido a las mencionadas uniones, facilitando así colocar el eje de mayor resistencia siguiendo las líneas de los esfuerzos principales.

No obstante, estas superficies desarrollables no admiten la adaptación de la vela a formas más o menos convexas o cóncavas.

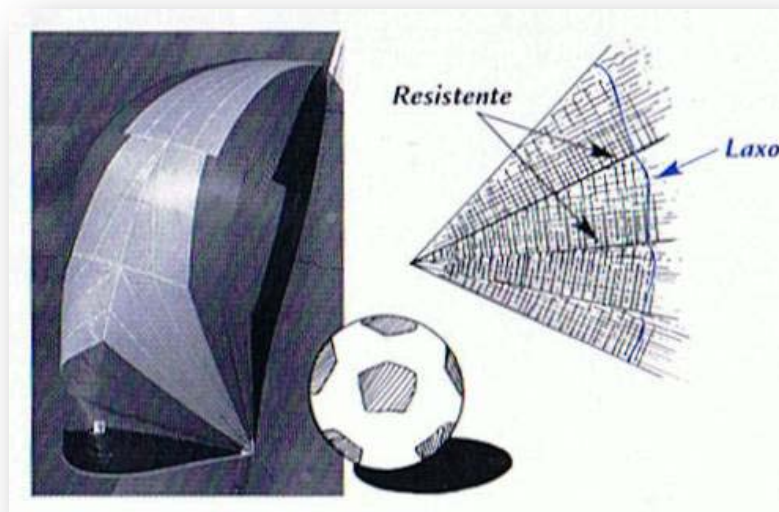


Fig. 4.1.- Ensamblaje de los paños.

Se fabrican los balones por ensamblaje de formas, geométricas. Para una vela, resulta lo mismo, pero se debe orientar al material en función de las líneas de fuerzas que vayan a atravesarla.

© Las velas: comprensión, trimado y optimización. Ediciones Juventud.

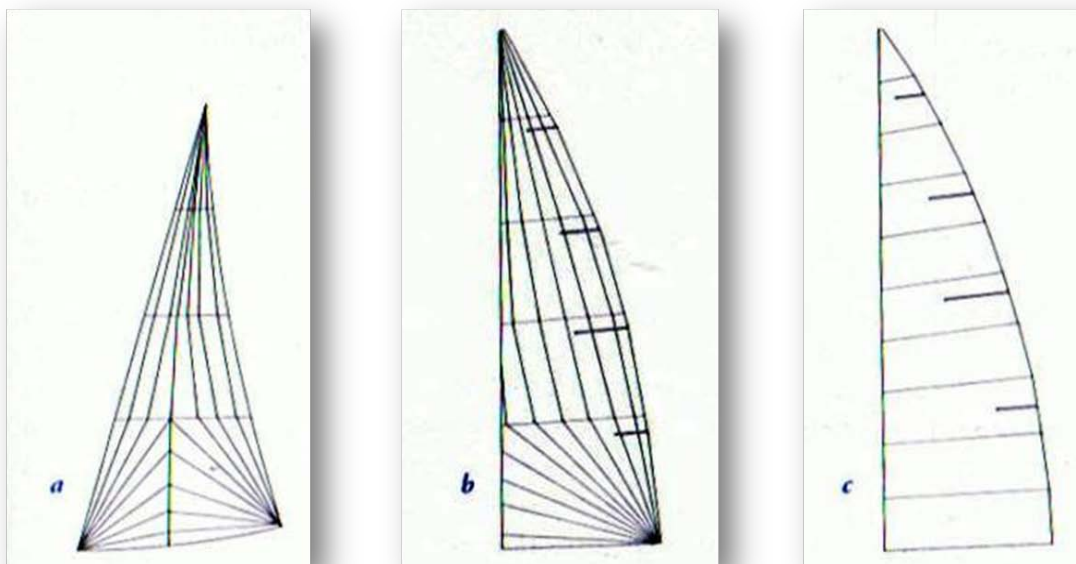
Los primeros pasos en busca de soluciones se iniciaron en los años 80 con los cortes radiales, facilitando la aparición de los primeros materiales laminados o compuestos en los que la fibra principal está orientada en el sentido longitudinal del tejido¹⁸. En este tipo de corte, los paños confluyen radialmente hacia los puños de la vela de donde surgen las mayores tensiones y posibilita la utilización de materiales con distinta concentración de fibras en función de las

¹⁷ Proceso de construcción denominado “Cross Cut”.

¹⁸ Proceso denominado “Construcción Orientada”. Orientada significa que mediante determinados medios se intenta alinear los hilos de fibra con las principales líneas de fuerza

necesidades de cada zona de la vela. La calidad de este tipo de construcción depende directamente del tipo de fibra utilizada, el número de hilo por centímetro y el acabado.

Las velas elaboradas mediante laminado no están elaboradas con ningún tejido en particular, sino que los hilos de fibra están distribuidos de manera que corresponden exactamente a las líneas de carga que soporta la vela. Las cuales son distribuidas de puño a puño debido al hecho de que estas tensiones se reparten uniformemente sobre toda la superficie de la vela.



a) Génova trirradial

b) Vela mayor birradial

c) Vela mayor clásica

Fig. 4.2.- Ejemplos de construcción: (a) Génova trirradial, (b) vela mayor birradial, (c) vela mayor clásica.

Según el material utilizado, los diseños de forma y construcción serán diferentes.

© Las velas: comprensión, trimado y optimización. Ediciones Juventud

Sin embargo, el inconveniente surge cuando se busca el máximo rendimiento. La cantidad de fibra que llega a los puños, confluencia de tensiones, se va reduciendo a medida que se acercan a los vértices, en cambio es en dichos puntos dónde la tensión va en aumento. Este factor obliga a colocar refuerzos radiales de material laminado relativamente grandes y pesados.

De hecho lo conveniente sería que las fibras convergieran hacia los vértices de las vela a partir de la distancia en que la tensiones empezaran a ser progresivamente más fuertes. Fue en los 90 cuando las velerías desarrollaron diversos métodos de fabricación con los que poder obtener velas más ligeras pero con la misma resistencia a la deformación, es decir, más resistentes a igual peso.

El primer sistema utilizado consiste en subdividir la vela en varias zonas planas de material laminado, fabricadas individualmente de modo que las fibras queden correctamente dirigidas en el sentido de las tensiones, y ensambladas posteriormente con las correspondientes curvas de unión para obtener la forma tridimensional deseada de la vela.

Posteriormente se ideó un sistema para laminar directamente en una sola pieza distribuyendo las fibras en el sentido de las tensiones. En este proceso se utiliza un molde tridimensional con la forma de la vela donde se extienden los paños pre-cortados de film, las fibras y finalmente es encolado con una segunda capa de film.

Si bien todos estos desarrollos mejoran el clásico corte radial, cada uno de ellos tiene sus propios inconvenientes. El primer sistema está compuesto de zonas planas muy grandes pudiendo afectar a la forma tridimensional de la vela. El segundo no permite aplicar fuertes presiones al encolar las distintas capas de films entre sí (máximo 1 Kg.) con el correspondiente aumento de peso por el exceso de cola y posible riesgo de desprenderse.

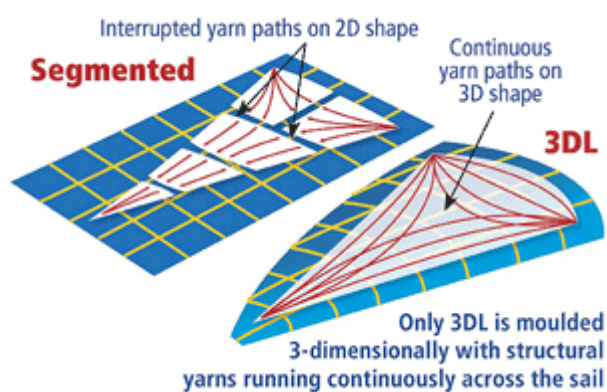


Fig. 4.3.- El laminado continuo es modulado en 3 dimensiones recorriendo las fuerzas principales que recorren por la vela.

© www.es.northsails.com

Los nuevos materiales requieren una tecnología de diseño nueva del mismo modo que los avances en el diseño de las embarcaciones y aparejos implican nuevos retos y oportunidades para la industria de la velería.

4.1.- Proceso de producción

El diseño y la fabricación de cada vela empiezan con un formulario de medición, donde se concretan las medidas específicas de la vela y de la embarcación a la que va destinada. En dicho formulario se detallan por ejemplo la longitud del grátil, pujamen y baluma así como la eslora de la embarcación, la manga y tipo de aparejo¹⁹.

Una vez determinadas dichas medidas se introducen todos los datos en un programa CAD de diseño, asistido por ordenador, que crea una imagen virtual del aparejo y sitúa la vela en el mismo, facilitando la determinación de la longitud y posición de las crucetas, la escota de

¹⁹ Ver Anexo III "Formularios de medición".

modo que la vela porte correctamente, el alunamiento de la Mayor, así como determinar los refuerzos de cruceta, calcular los ángulos de rizado y la posición del carro de Génova.

Una vez se establecen las dimensiones, se fija la forma de la vela dando profundidad y volumen en sentido horizontal y vertical, la apertura de la baluma, ángulo de ataque y el ángulo de fuga de los perfiles a su correspondiente altura y demás variables. Disponiendo de toda la información el diseñador puede ajustar perfectamente la vela a la embarcación.

Cuando se han definido la forma y las dimensiones de la vela se elijen el tejido y los materiales óptimos para la misma. El peso se determina en función del tamaño de la embarcación y de su desplazamiento. Seguidamente el programa realizará una membrana virtual en secciones o paños dándoles la forma bidimensional exacta para que una vez cortado el material, mediante un sistema de plotter, se obtenga la forma tridimensional establecida.

No solo deben controlarse las dimensiones y el peso de la tela, sino también debe conocerse el comportamiento del producto acabado y las condiciones en las que éste trabajará. Es decir, no únicamente la velocidad del viento en la que se encuentra la vela sino también las características del aparejo en la que será instalada o sujeta.

Finalmente, una vez diseñada y planificada la vela, resta cortar, unir los paños y establecer la ubicación de los sables, parches y bolsillos, así como la colocación de los refuerzos en los puños y coser los ollados, siendo esta etapa de acabado realizada a mano.

En la industria de la velería se han desarrollado diversos métodos de diseño basados en la mejora de los programas de CAD/CAE, para ofrecer al navegante la mayor calidad y el mejor rendimiento de sus velas.

De entre las velerías más conocidas destacan las firmas Quantum Sails y North Sails cuyos sistemas de fabricación, en función del laminado de la vela, utilizan distintas tecnologías conocidas como 3DL y Fusión M, respectivamente.

4.1.1.- Tecnología 3DL, *Three Dimensional Laminate*

En base a lo descrito con anterioridad las velas mayoritariamente obtienen su forma tridimensional mediante un proceso en el que se unen numerosos paneles de contorno arqueado. Sin embargo, el proceso 3DL moldea enteramente la vela sobre una horma tridimensional.

Las velas elaboradas mediante tecnología 3DL, se delinean inicialmente en un archivo CAD/CAE, mediante el cual un software propiedad de la velería crea un archivo a medida del “molde” individualmente para cada tipo de vela.

En dicho archivo se desarrolla un modelo completo del aparejo en un contorno tridimensional, donde se definen los puntos de anclaje del aparejo en cubierta, tamaño del mástil, puntos de trimado, etc. En el modelo también se incluyen las propiedades mecánicas del aparejo estático y móvil junto a los parámetros de inercia, área y la resistencia de los materiales al estiramiento. Utilizando esta información el programa determina la deformación por las cargas que experimentan la vela y cada pieza del aparejo así como el estiramiento de escotas y drizas.

Las velas son confeccionadas sobre un inmenso molde deformable, gestionado por un programa informático, que le permite adoptar la forma adecuada. Dichos moldes se cubren con una película de poliéster muy fina a la cual se le aplica tensión. Mediante un cabezal de ejes suspendido de una grúa controlada por ordenador va extendiendo las fibras estructurales sobre la superficie del film base siguiendo con precisión la curva en tres dimensiones del molde.

El “dibujo” de fibras que deja el cabezal sigue las tensiones que experimentará la vela durante su uso. Todas las fibras estructurales se aplican con una tensión uniforme y se adhieren a la superficie del film para asegurar que no se muevan antes de que el proceso de laminado las bloquee.

Una vez dispuestas las fibras se añade un segundo film y después se cubre con una gran bolsa de vacío que comprime el laminado con una fuerza aproximada de 100 kilogramos por centímetro cuadrado. Este segundo film contiene un

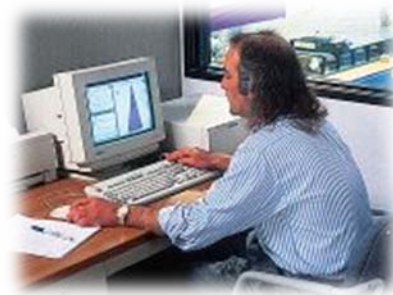


Fig. 4.4.- Diseño en archivo CAD/CAE.
© www.es.northsails.com



Fig. 4.5.- Cabezal distribuidor de fibras.
© www.es.northsails.com



Fig. 4.6.- Molde tridimensional y aplicación de calor para el curado.
© www.es.northsails.com

entramado secundario de fibras que absorben las tensiones derivadas de las líneas de tensión primarias.

Posteriormente el cabezal se sustituye por un aplicador tipo “manta” de calor compuesto por carbono, ayudando al curado del laminado mediante una dosis uniforme y controlada de calor y presión. Siendo así el laminado ajustado al molde adaptándose a la forma exacta establecida en el primer archivo CAD/CAE. Finalmente se deja reposar el compuesto durante un período aproximado de cinco días antes de proceder con los acabados.

El material de las velas 3DL se construye utilizando una atmósfera de presión de vacío, que es aproximadamente 3.500 Kg/m^2 . La aplicación de la presión de vacío y el curado térmico facilita la adherencia del laminado alrededor de las fibras. Dicho proceso se denomina “consolidación del laminado” debido a que el vacío se aplica entre las capas de film, succionándolo hacia las fibras evitando espacios huecos en el interior del material. También se facilita la adherencia de los films en las zonas de alta tensión donde se cruzan y concentran las fibras, dónde el espeso del laminado aumenta.

Las velas 3DL no tienen costuras debido a que los hilos son distribuidos escalonadamente de puño a puño, limitándose las costuras, entonces, a los puños, bordes y acabados. Debido a que ha sido elaborada mediante un moldeado sobre molde tridimensional, los hilos adoptan la misma forma que adquiere la vela durante la navegación.

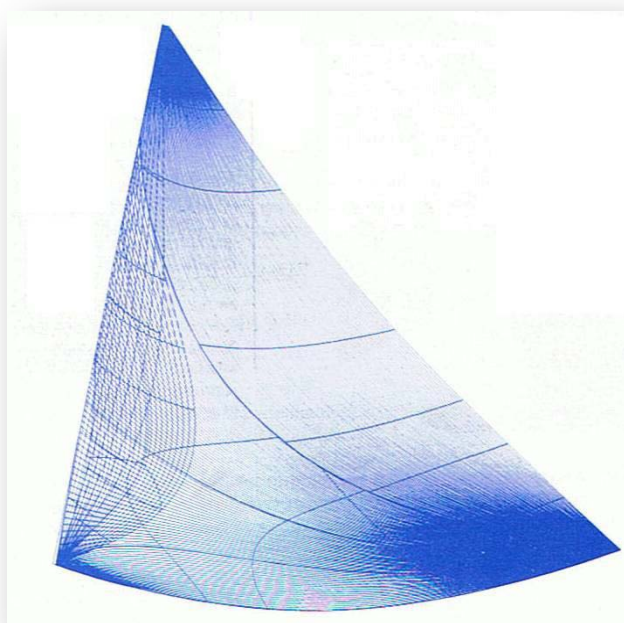


Fig. 4.7.- Distribución de las fibras destinadas a un Génova 3DL. Los hilos atraviesan la vela sin ruptura, algunos de puño a puño y otros de puño a borde.

© Las velas: comprensión, trimado y optimización. Ediciones Juventud

4.1.2.- Tecnología Fusión M

A diferencia de otras velas que utilizan paneles de material compuesto ensamblados mediante una triple configuración radial, las velas de crucero elaboradas con tecnología Fusión M se han diseñado como membranas de tamaño completo en las que se han dispuesto las fibras a modo que éstas se adapten a los esfuerzos de diseño de la vela.

La tecnología FM se basa en el estudio de una estructura íntegramente flexible y adaptable, una estructura inteligente. El punto de partida es el cálculo de la carga en un punto de la vela, mediante una división del tejido en pequeñas partes.

El software utilizado por la firma Quantum Sails, permite trabajar con todas las variables a la vez, es decir, casco, jarcia y mástil, modificando independientemente cada variable sin tener que volver a empezar.

Partiendo del formulario citado con anterioridad en el cual constan las dimensiones de la embarcación, la posición y dimensión del aparejo, etc., mediante un programa CAD/CAM propiedad de la velería se calculan las distancias (E/J) grátil-baluma y (P/I) botavara-altura, el diseño y posición de los sables y puños, así como los detalles necesarios para el trimado óptimo, quedando así definida la forma de la vela (perfil) y el perímetro de ésta, obteniéndose un modelo del cual se han especificado áreas de atención e inventarios.

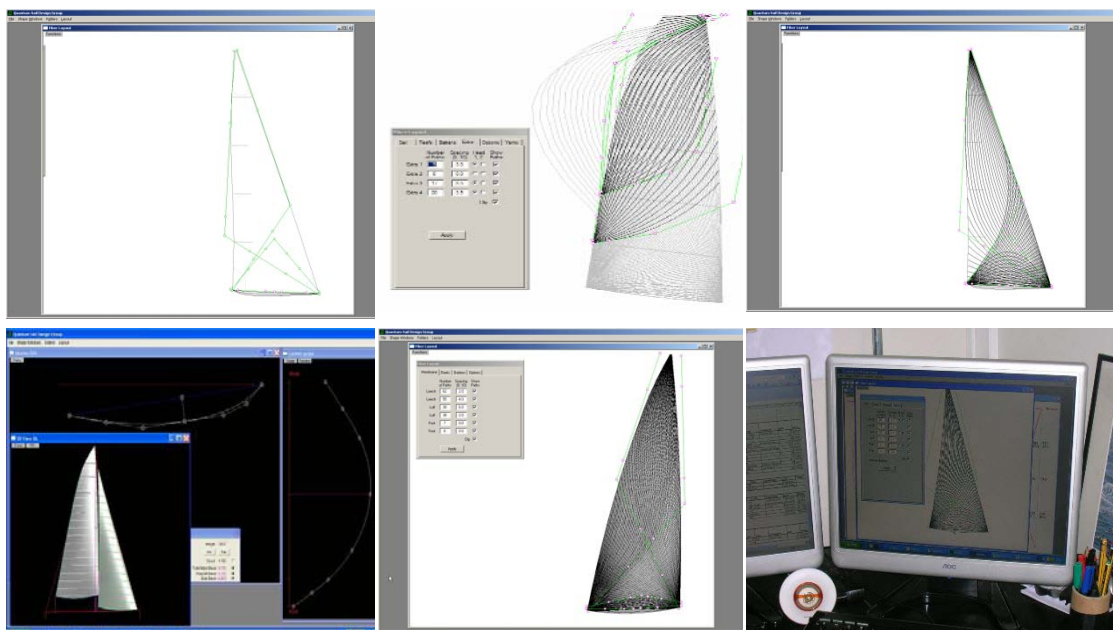


Fig. 4.8.- Definición del perfil, dimensionamiento de la vela y selección tipo y cantidad de fibras.
© Cortesía de Quantum Sails.

El software genera un archivo que facilita el estudio del diseño de la vela, permitiendo variar la disposición y distribución de las fibras, indicando la fuerza a la que estos pueden ser sometidos. Permite al diseñador elegir la cantidad de hilos y la distancia entre los mismos en función del tipo de vela y el volumen definido.

Posteriormente se procede a la modelización y customización de la vela mediante software denominado CFD²⁰, que permiten el estudio matemático del comportamiento del fluido, aire, habiéndose definido previamente ciertas condiciones como la dureza de los sables, la tensión de la escota, y ángulo de escora obteniendo así diferentes gráficos de las presiones y velocidades que actúan sobre la vela.

Para la optimización de la vela, previo a proceder a su elaboración, se realizan diversos análisis de VPP²¹ con cada tipo de vela sobre diferentes rangos de viento, aplicándose límites razonables para cada una en función del criterio del diseñador.

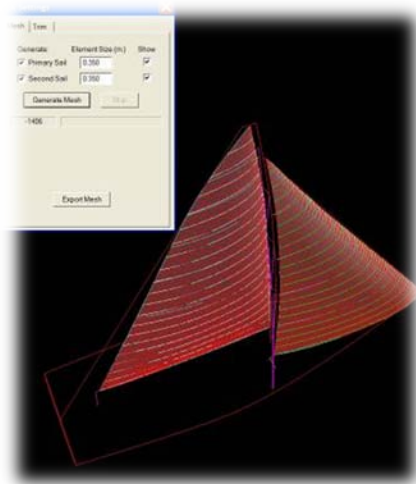


Fig. 4.9.- Modelización en CFD, definición de condiciones.

© Cortesía de Quantum Sails.

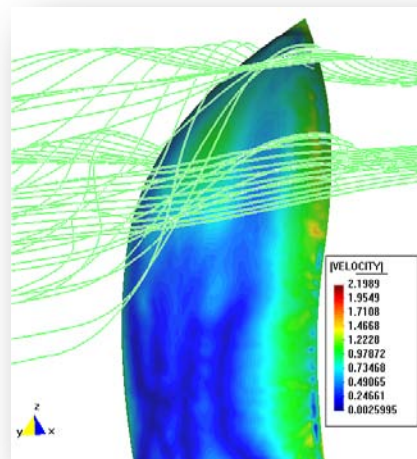


Fig. 4.10.- Optimización en VPP, presiones, velocidades y tensiones.

© Cortesía de Quantum Sails.

20 “*Dinámica de Fluidos Computerizada*”. Consiste en resolver problemas de mecánica de fluidos mediante aproximaciones matemáticas mediante un ordenador, no siendo necesario la utilización de un modelo para el canal de ensayos.

21 “*Velocity Prediction Program*”. Consiste en la obtención de una gráfica denominada Polar de velocidades, en la que se puede observar la velocidad del barco en función del ángulo del viento y la velocidad de éste, facilitando así una predicción del rendimiento de la embarcación.

Las velas son confeccionadas sobre una mesa plana y mediante una mano robótica se distribuyen los hilos según se ha definido en el software de base CAD. La confección de la vela puede variar en una distribución continua o una distribución en paneles dependiendo del tipo de vela y de la función a la que esté destinada. Es decir, una vela mayor de crucero o regata, un foque, un spinaker, etc.

Posteriormente el material compuesto es sometido a un proceso de vacío y prensado a una presión de 20 kilogramos centímetro cuadrado, dejándolo reposar durante una semana aproximadamente. De igual modo que en el caso de las velas 3DL, la tecnología fusión M utiliza el proceso de adherencia de las fibras de material “resistente” entre dos capas de film de poliéster con la aplicación de un adhesivo, el cual en ocasiones se tiñe de algún color oscuro o se le añaden aditivos especiales para proteger mejor las fibras de los rayos UV.

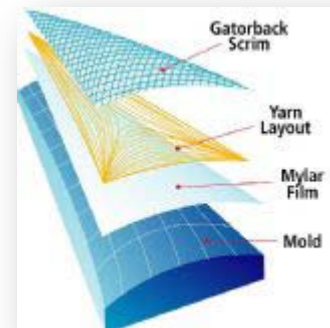


Fig. 4.11.- Orden capas del laminado:
a) molde, b) película de Mylar, c) distribución de hilos, d) entelado.
© www.es.northsails.com

Dicha composición debe reposar o curar igualmente, mediante la aplicación de presión y temperatura. Sin embargo, para la aplicación de temperatura en Fusión M se emplean infrarrojos en las películas de *Mylar*.

Una de las ventajas de los materiales laminados en plano (no en tres dimensiones) es que esto permite unos procesos de unión a una temperatura y una presión de varias toneladas imposibles sobre un molde. La confección sobre una mesa plana facilita que la tensión sobre el material compuesto sea igual a lo largo de todo el hilo, siendo así el material más estable y obteniendo una menor distorsión/deformación de la vela.



Fig. 4.12.- Colocación de las fibras sobre mesa plana mediante sistema de plotter.
© Cortesía de Quantum Sails.



Fig. 4.13.- Finalización proceso de laminado.
© Cortesía de Quantum Sails.

4.1.3.- Comparaciones

Los procesos de diseño mediante el uso de softwares informáticos, con respecto a los sistemas convencionales, permiten definir con mayor precisión la forma, perfil, adecuado de la vela para alcanzar un mayor rendimiento, debido a que el estudio virtual previo a su confección se aproxima mucho al comportamiento real de la vela.

La elaboración de velas con material compuesto, en lugar del clásico ensamblaje de paños tejidos, proporciona una mayor ligereza a la vela de hasta un 20% -30%, una mayor resistencia al estiramiento y una superficie uniforme, ofreciendo así una mayor aceleración y facilidad en el trimado.

Debido a que están totalmente constituidas por los mismos componentes, el paso del tiempo no tiene el mismo efecto destructivo sobre las prestaciones y la durabilidad de éstas velas. Es decir, tienen mejores prestaciones sobre una amplia gama de vientos y durante más tiempo. Así mismo las velas de laminado sufren una menor reducción de tamaño, un efecto que se produce cuando las velas son utilizadas o plegadas tras su uso.

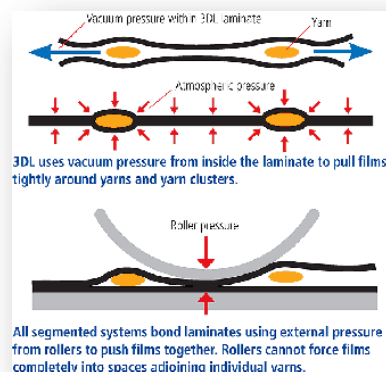


Fig. 4.14.- Efecto presión de vacío.
 Todos los sistemas de laminado segmentado utilizan presión externa mediante rodillos para asegurar la adhesión de las películas de poliéster. Pero los rodillos no pueden asegurar la adherencia entre los espacios adyacentes a los hilos. © www.es.northsails.com

A diferencia de otros sistemas de laminado, los aquí descritos, se caracterizan por la utilización de presión de vacío durante el curado del material en lugar de rodillos. Mediante la aplicación de presión de vacío se facilita la adherencia de las fibras al laminado, evitando la aparición de “bolsas de aire”, proporcionando una mayor calidad del mismo.

Pudiéndose destacar las diferencias básicas entre ambos sistemas en la siguiente tabla²²:

3DL	Fusión M
Molde tridimensional	Mesa plana
Presión vacío 1 bar	Presión vacío 20 bar
Temperatura manta	Temperatura infrarrojos
Hilos puño a puño	Control tensión hilo
---	Hilos continuos

Tabla. 4.1.- Cuadro comparativo diferencias básicas entre laminados.

²² Mencionar que no se ha facilitado cierta información debido al posible espionaje industrial.

No obstante, en unos tiempos en que las fibras que utilizan todas las velerías son más o menos las mismas, y que la calidad del laminado se ha estandarizado, la diferencia la marca el equipo técnico y las herramientas en desarrollo.

CAPITULO II: LA ENERGÍA SOLAR

5.- Descripción de la energía solar

La energía solar es la energía obtenida mediante captación de radiación emitida por el sol. El sol es una fuente de abastecimiento energético, continuo y renovable, gratuita, limpia e ilimitada, que permite su uso de forma autogestionada, es decir, se puede aprovechar en el mismo lugar en que se produce.

Existen dos formas principales de utilizar la energía solar, como fuente de calor en los sistemas solares térmicos, que consisten en el aprovechamiento de la radiación solar para la producción de agua caliente, climatización y calefacción. Y como fuente de electricidad para sistemas solares fotovoltaicos.

La radiación consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (longitud de onda), donde se incluyen los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible, la luz infrarroja, microondas y las ondas de radio²³.

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, que se distribuye en la región de onda corta del espectro electromagnético²⁴. Desde el infrarrojo hasta los rayos ultravioletas.

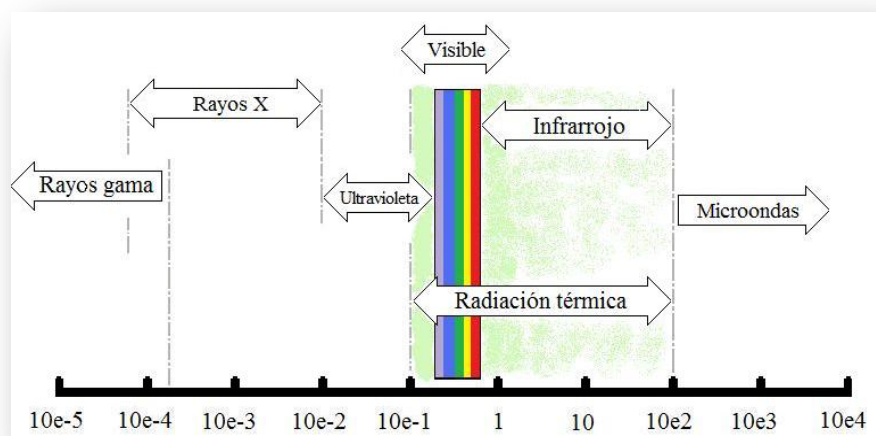


Fig. 5.1.- Diagrama del espectro de radiación electromagnética.

²³ Alternativamente la radiación se puede ver como la propagación de partículas subatómicas (partículas, neutrones, etc.) a través del vacío o de un medio material a gran velocidad con apreciable transporte de energía, denominada radiación corpuscular.

²⁴ Distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas.

La potencia de la radiación solar experimenta un cambio significativo en su magnitud y distribución al incidir sobre la superficie terrestre. El cambio se debe a las condiciones atmosféricas, los gases atmosféricos O_3 (ozono), H_2O , O_2 y CO_2 ; la presencia de polvo, el momento del día y la latitud, que provocan que la radiación que incide sobre la superficie terrestre sea dispersa y redireccionada, lo cual dificulta su aprovechamiento y hace necesaria la utilización de sistemas de captación de gran superficie. Asimismo se puede asumir que en buenas condiciones la potencia de radiación es superior a los 1000 W/m^2 .

5.1.- Energía solar eléctrica o fotovoltaica

La irradiación solar, en una hora, deja sobre la superficie terrestre la energía equivalente al consumo de todo un año a nivel mundial. En España, por su privilegiada situación y climatología, inciden por cada metro cuadrado 1.550 kWh (kilovatios hora) de energía solar, por lo que es evidente la necesidad de aprovechar por todos los medios disponibles, esta fuente energética, gratuita, limpia e inagotable.

La energía solar fotovoltaica permite transformar la radiación solar en electricidad a través de captadores solares (células fotovoltaicas) por medio del efecto fotovoltaico²⁵.

El efecto fotovoltaico es la base del proceso de transformación mediante el cual una célula fotoeléctrica convierte la luz solar en electricidad. La radiación incidente sobre la superficie de una célula fotovoltaica puede ser absorbida, reflejada o pasar a través de la misma.

Cuando la radiación es absorbida, la energía se transfiere a los electrones de los átomos de la célula solar dotándoles de potencia suficiente para escapar del medio que los contiene (sólidos metálicos y no metálicos, líquidos o gases).

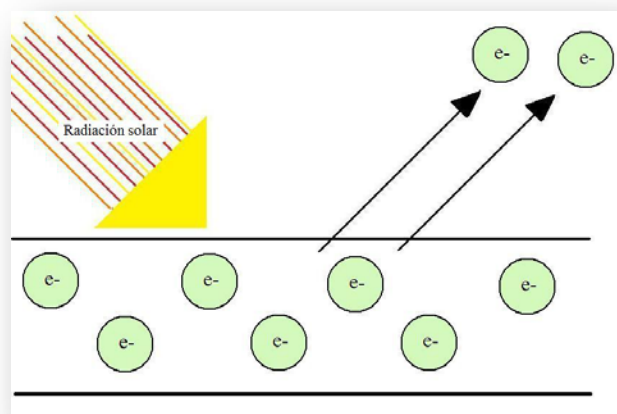


Fig. 5.2.- Ilustración del efecto fotovoltaico.

²⁵ Fue reconocido por primera vez en 1839, por el físico francés Becquerel, pero la primera célula no se construyó hasta 1883. Su autor fue Charles Fritts quién recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar un empalme.

Las células fotovoltaicas están formados por materiales semiconductores²⁶ que al recibir radiación crean saltos electrónicos, creando una corriente entre dos placas con cargas eléctricas opuestas, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos.

Todas los captadores solares, paneles o módulos, son similares en cuanto a su constitución, únicamente difieren unos de los otros en la calidad de los materiales utilizados y en la calidad de la tecnología de las células.

La principal propiedad de la captación solar mediante paneles fotoeléctricos es la capacidad de proporcionar autosuficiencia a una *instalación*, es decir, no siendo necesaria la conexión a la red de distribución eléctrica para obtener electricidad. Sin embargo la corriente continua (CC) que proporcionan puede ser transformada a corriente alterna (CA) pudiéndose conectar a la misma red eléctrica.

5.2.- Colectores solares

Los paneles consisten en una red de células solares²⁷ conectadas mediante conexiones eléctricas en serie y en paralelo para determinar la tensión de salida hasta el valor deseado, capaces de convertir la luz solar en electricidad de forma directa e inmediata. Usualmente se utilizan voltajes de entre 12 V (voltios) y 24 V.

Aunque cada celda provee una cantidad pequeña de energía, muchas de ellas repartidas en un área grande pueden proveer suficiente energía.

La parte más importante de una célula solar son las capas de material semiconductor, debido a que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores están tratados espacialmente para formar dos capas diferencialmente dopadas (*tipo p y tipo n*)²⁸, formando así un campo eléctrico, el cual es positivo por un costado y negativo por el otro, y al incidir sobre

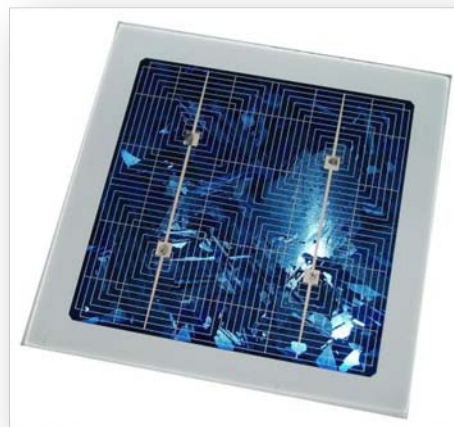


Fig. 5.3.- Célula fotoeléctrica.
© www.wikipedia.es

²⁶ Es una sustancia que se comporta como conductor de corriente o aislante, dependiendo de la temperatura ambiente.

²⁷ También llamadas células fotoeléctricas o fotovoltaicas. Es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa en energía eléctrica.

²⁸ Es la unión mediante procesos químicos de un semiconductor p con un semiconductor n. Ver Anexo IV "Dispositivos semiconductores electrónicos".

la célula la luz solar se liberan los electrones creándose la corriente. Por esta razón las células se fabrican a partir de semiconductores, es decir, materiales que actúan como aislantes a bajas temperaturas y como conductores cuando la energía aumenta.

Elemento	Electrones en la última capa
Cadmio (Cd)	2 e ⁻
Aluminio (Al), Galio (Ga), Boro (B), Indio (In)	3 e ⁻
Silicio (Si), Germanio (Ge)	4 e ⁻
Fósforo (P), Arsenio (As), Antimonio (Sb)	5 e ⁻
Selenio (Se), Telurio (Te), Azufre (S)	6 e ⁻

Tabla. 5.1.- Materiales semiconductores.

Las células solares generalmente están constituidas por silicio, debido a que es el material más abundante y el cual se comporta como un *diodo*²⁹ de unión *p-n* especialmente sensible a la iluminación, generando corriente eléctrica. Siendo mayor el rendimiento cuanto mayor sea la temperatura.

El silicio es procesado de modo que se consiga un cilindro sólido y cristalino. Dichos cilindros de silicio cristalino son cortados en discos finos y pulidos para eliminar los posibles daños causados por el corte. Posteriormente se introducen impurezas añadidas para modificar las propiedades conductoras. Dichos discos se depositan sobre una rejilla fina, por el costado en el que impactará la luz solar, y se coloca una hoja plana por el otro costado.

Para proteger la superficie frontal de los daños causados por la radiación y los agentes atmosféricos o por el propio empleo de los módulos fotoeléctricos, se los recubre con una cubierta de vidrio y cementa sobre un sustrato, el cual puede ser un panel rígido o una manta blanda, a objeto de darles una protección mecánica.

La vida útil media a máximo rendimiento de las células fotovoltaicas se sitúa en torno a los 25 años, a partir de dicho período la potencia entregada disminuye.

²⁹ Un dispositivo semiconductor que permite el paso de la corriente eléctrica en una única dirección con características similares a un interruptor.

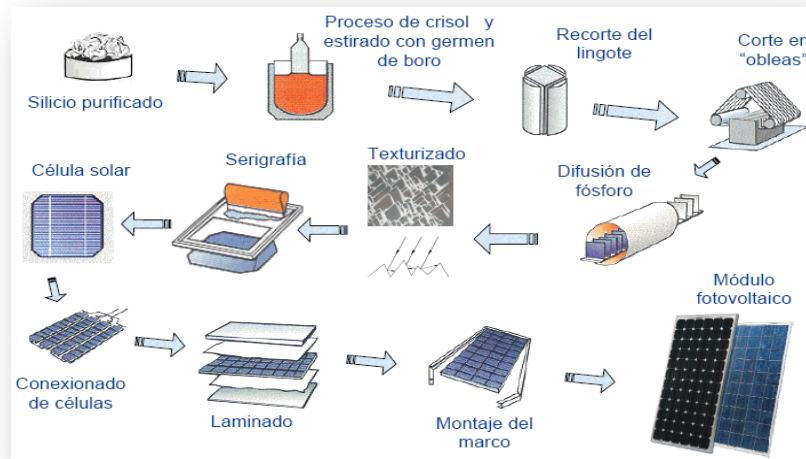


Fig. 5.4.- Proceso de obtención de células fotoeléctricas y construcción de paneles solares.

©www.electricidad-gratuita.com

Numéricamente una celda de silicio de 6 centímetros de diámetro puede producir una corriente de alrededor de 0,5 Amperios equivalente a 90 W/m^2 (vatios por metro cuadrado), al ser expuesto a la luz solar directa.

5.2.1.- Tipos de células

Existen diversos procedimientos y tipo de materiales que se usan para la construcción de las células. En el mercado se pueden encontrar células de silicio de diferentes tipos y de otros materiales semiconductores.

5.2.1.1.- Células de silicio

a. Cristalinas.

- i. *Monocristalinas*: Compuestas de un único cristal de silicio.
- ii. *Policristalinas*: Formadas por pequeñas partículas cristalinas de silicio, Arsenio y Galio.

El silicio es obtenido a partir de procesos que no necesitan un control exhaustivo de la temperatura en la solidificación del material, ni tampoco un crecimiento controlado de su red cristalina.

Existen diferentes tipos de silicio policristalino atendiendo al tamaño de los cristales que lo componen, que generalmente en los más modernos es mucho más pequeño que en las células más antiguas.

b. Amorfas: Compuestas por silicio no cristalizado.

La utilización del silicio amorfo para la fabricación de células fotovoltaicas radica en el espesor del material a utilizar, debido a que puede llegar a ser cincuenta veces más finas que el equivalente fabricado en silicio monocristalino.

5.2.1.2.- Células de Arseniuro de galio

En la versión cristalina del Arseniuro de galio (AsGa), se puede llegar a alcanzar rendimientos teóricos cercanos al 27%-28%. No obstante es un material de costosa obtención.

5.2.1.3.- Células de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre

Células compuestas por dos capas: Sulfuro de cadmio (SCd) y otra de sulfuro de cobre (SCU₂), siendo su principal ventaja la utilización de poco material activo en un proceso fácil de fabricación.

5.2.2.- Evolución y generaciones

Las células fotoeléctricas son clasificadas en varias generaciones que indican el orden de importancia y relevancia históricamente.

La primera generación de células fotovoltaicas consiste en una gran superficie de cristal simple, de grandes dimensiones, alta calidad y unión única. Esta primera generación conocida como células basadas en oblea, constituyen la tecnología predominante en el mercado de las células solares terrestres, siendo la efectividad de los captadores mayor cuanto mayor sea su superficie cristalina.

La segunda generación de células fotoeléctricas se basa en el uso de materiales semiconductores que permiten el desarrollo de películas finas o delgadas reduciendo la masa de material activa, propiciando la aparición de paneles solares más ligeros y flexibles e incluso dar lugar al estudio de materiales de origen textil.

La tercera y la cuarta generación consiste en el desarrollo de células que contemplan una tecnología fotoeléctrica compuesta, donde se mezclan nano-partículas con polímeros basados en la multifunción, y se estudian los dispositivos de huecos cuánticos y los dispositivos que incorporan nanotubos de carbono.

Indicar que a fecha de redacción del presente estudio la eficiencia de conversión media por las células disponibles comercialmente (producidas a partir de silicio monocristalino) se sitúa alrededor del 11%- 12%, pero la tecnología utilizada varía desde el 6% de las células de silicio amorfo hasta 14%-19% del monocristalino. También existen las células multicapa normalmente de Arseniuro de Galio, que alcanzan eficiencias del 30%.

Sin embargo hoy en día las nuevas tecnologías en la producción de los paneles están revolucionando la generación eléctrica fotovoltaica.



Fig. 5.5.- Nueva tecnología de paneles solares delgados.

©www.energia-solar-fotovoltaica.info

5.3.- Nuevos módulos y células fotovoltaicas

El gran auge del uso de paneles fotovoltaicos para la generación eléctrica en los últimos años ha permitido que la industria de paneles desarrolle nuevas tecnologías para producir nuevos paneles de menor coste, mayor eficiencia, más ligeros, delgados y capaces de alcanzar mayor cantidad de aplicaciones.

Actualmente existen diversas soluciones técnicamente viables para la generación de electricidad a partir de luz solar, basadas en el desarrollo de células solares plásticas, imprimibles, flexibles y económicas.

Las tecnologías actuales de película delgada y nanopartículas ofrecen la posibilidad de crear células fotoeléctricas impresas sobre películas finas de forma parecida a la impresión de billetes, dando lugar a innovaciones como paneles solares flexibles y enrollables, módulos CIGS o células fotoeléctricas orgánicas y tejidos solares.

5.3.1.- Módulos flexibles, enrollables y portables

Compañías como Brunton, Ibersolar o Nanosolar han desarrollado módulos fotovoltaicos basados en tecnología de silicio amorfo aplicada a una duradera base de polímero utilizando el proceso de fabricación continua.

Dichos módulos están integrados en una estructura de seguridad de gran variedad de materiales apropiados para su aplicación que permiten la funcionalidad de los mismos.

La firma Brunton posee un amplio catálogo de paneles solares portables capaces de generar energía para recargar teléfonos móviles, reproductores de música, GPS, cámaras digitales, video cámaras, reproductores DVD portátiles, etc.

Son módulos ligeros pensados para uso exterior, energía portátil para el aire libre, donde no existe posibilidad de conectar los aparatos electrónicos a la red. Disponen de protección meteorológica, y permiten enrollamiento y fácil manejo.

Propiedades técnicas

Solar Roll 9

Medidas	30,48 x 144,78 cm.
Peso	300,51 gr.
Potencia	9 W (vatios)
Voltaje / Corriente	15,4 V / 600 mA



Solaris™ 12

Medidas	73,66 x 44,45 cm. (open) 22,86 x 12,7 x 3,81 cm. (close)
Peso	311,85 gr.
Potencia	12 W (vatios)
Voltaje / Corriente	12 V / 800 mA



SolarFlat

Medidas	17,78 x 30,48 x 1,90 cm.
Peso	1,5 Kg.
Potencia	2 W (vatios)
Voltaje / Corriente	12 /24 V – 140 mA

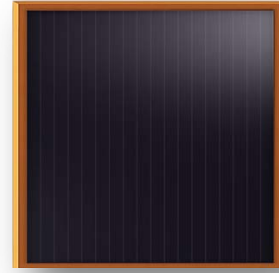


Tabla 5.2.- Propiedades técnicas de algunos productos Brunton.
© www.brunton.com

Los módulos elaborados por la firma Ibersolar asimismo pueden ser soldados a través de una cinta de cobre y disponen de un sellado de bordes suplementario para la protección meteorológica y la adherencia.

Se distinguen tres modelos, según distintas aplicaciones:

- Aircraft* Diseñados para ser fácilmente integrados en aviones operados por control remoto.
- Wireless* Diseñados para aparatos electrónicos tanto en aplicaciones portátiles como remotas.
- Weatherpro* Pensados para aplicaciones de exterior directamente expuestas a intemperie.

5.3.2.- Módulos CIGS y células fotoeléctricas orgánicas OPV

Los módulos CIGS, se basan en micro estructuras de cobre, indio, galio y selenio sobre una película delgada, en lugar de células de silicio convencionales. Dichas micro estructuras se incrustan en un soporte flexible y ligero, basadas en una unión más compleja pero más eficiente. La película delgada, flexible y ligera facilita su instalación en tejados, paredes, en unidades portátiles, vehículos, etc.

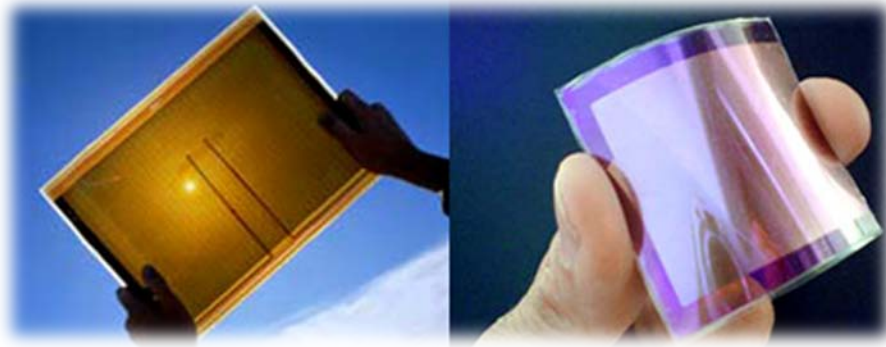


Fig. 5.6.- Paneles delgados y flexibles con células fotoeléctricas CIGS y OPV.

© www.wikipedia.org

Las células orgánicas fotovoltaicas (*Organic Photovoltaic*)³⁰ o de polímeros están constituidas a partir de polímeros semiconductores³¹, generalmente orgánicos, los cuales reaccionan a la luz solar. Se trata de una tecnología relativamente nueva todavía en fase experimental.

Se basa en la obtención macromoléculas orgánicas derivadas de la petroquímica, películas de material plástico elaboradas a partir de dos tipos distintos de polímero, cuyos procesos de obtención gastan menores cantidades de energía que la utilizada en la obtención de células basadas en semiconductores minerales. El primer tipo de polímero tiene la propiedad de liberar electrones cuando es golpeado por fotones de luz mientras el segundo absorbe dichos electrones.

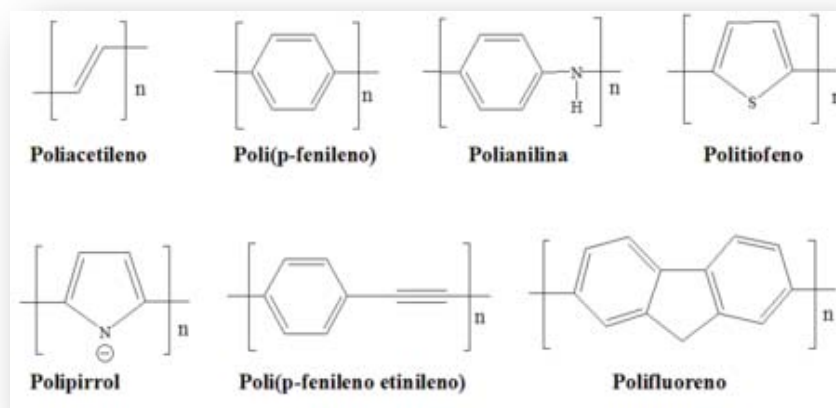


Fig. 5.7.- Estructura molecular de los polímeros semiconductores.

© www.wikipedia.org

30 Ver Anexo V “Células solares orgánicas”.

31 La semiconducción en polímeros es un efecto debido a la deslocalización de electrones pi en una secuencia alternante de enlaces sencillos y dobles.

Las células fotovoltaicas orgánicas cuentan con la ventaja de que se elaboran mediante procesos de impresión y de recubrimiento de alta velocidad, pudiendo así ser integradas en materiales flexibles como las pinturas en aerosol y la impresión de inyección de tinta para cubrir áreas más extensas, o en siliconas e incluso en fibras textiles.

5.3.3.- Textiles solares

Los tejidos solares, son tejidos compuestos por elementos semiconductores de origen orgánico y concebidos mediante la nanotecnología que absorben la luz solar de igual modo que los paneles solares convencionales y la transforma en energía eléctrica.

La flexibilidad del textil permite una gran variedad de aplicaciones de energía solar y en la medida en que las células fotovoltaicas pasan a ser posibles en superficies maleables, surgen nuevos estudios relativos a su aplicación. Los tejidos solares están siendo probados en cortinas, en prendas de vestir e incluso trajes de baño³².

La empresa de arquitectura Kennedy & Violich Architecture, en asociación con el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), de Boston en los Estados Unidos, presentó en el Museo de Diseño de Essen (Alemania), el proyecto *Soft House*, donde las convencionales cortinas del hogar se transformaron en superficies flexibles receptoras de energía solar con capacidad de almacenar energía e iluminar. Las cortinas de la *Soft House* pueden generar una cantidad de 16.000 vatios/hora de electricidad y además pueden ser movidas para seguir la trayectoria del sol.



Fig. 5.8.- Muestra de tejido desarrollado para absorber la energía solar y transformarla en eléctrica.

© www.kvarch.net

32 *SolarCell*, presentado en 2006 por el diseñador Andrew Schneider, es una pieza de baño innovadora realizada en colaboración de la empresa *Coenergy*, el cual integra doscientas (200) células solares, en antracita, que permiten generar una potencia de 4 W, que puede ser utilizada para la recarga de teléfonos móviles y reproductores mp3.

El tejido solar sería el material o célula fotoeléctrica más adecuada para la confección de velas. No obstante, en base a la información documental recopilada, dicho material se halla en estado de desarrollo, no encontrándose disponible comercialmente.

Debe ser mencionado que puestos en contacto con la Srta. Sheila Kennedy de la firma Kennedy & Violich Arquitectura, Ltd., y profesora del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), mediante correo electrónico, no hemos recibido respuesta por su parte, no siendo obtenida información relativa a las propiedades técnicas del citado tejido solar.

5.3.4.- Células DSSC, *Dye Sensitized solar cell*

Las células DSSC³³, son células solares de titanio nanoestructurado sensibilizado con colorante. Dichas células tienen una estructura sencilla que consta de dos electrodos contenidos en un electrolito. Su tamaño ínfimo permite proyectarlas en spray, compuesto por un baño de polímeros, sobre las superficies de acero convirtiéndolas en paneles solares.

Uno de los electrodos es un colorante altamente poroso que absorbe el dióxido de titanio nanocrystalino, el cual se encuentra sobre un sustrato conductor de electricidad transparente. Siendo el otro electrolito sencillamente un sustrato transparente conductor de electricidad.

El dióxido de titanio (TiO₂) es un material muy común, utilizado en pasta de dientes y en protectores solares, y el colorante puede ser de tipo orgánico como la coloración que se encuentra en los arándanos.

Estas células son capaces de convertir la luz en electricidad con una eficiencia de más del 11%, utilizando mecanismos de transferencia electrónica similares a los que ocurren durante la fotosíntesis en las plantas. Cuando la luz incide sobre las células la energía es absorbida por el colorante. Los electrones excitados se escapan del medio que los contiene, el tinte, y se difunden a través del dióxido de titanio (TiO₂) al electrodo, regresando posteriormente al colorante mediante el electrolito.

³³ Células solares concebidas en 1988 por **Michael Grätzel**, fotoquímico suizo nacido en 1944, también conocidas como "células Grätzel".



Fig. 5.9.- Células fotovoltaicas elaboradas en aerosol e inyección de tinta.

© www.renovable.com

6.- Instalación fotovoltaica

Un sistema fotovoltaico no es más que un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

- Transformar directa y eficientemente la energía.
- Almacenar adecuadamente la energía capturada o generada.
- Proveer adecuadamente la energía producida y almacenada.
- Utilizar eficientemente dicha energía.

Por ello requieren el acoplamiento de los subsistemas de generación, acumulación, transformación y distribución. Para un sistema fotoeléctrico autónomo, como el caso de una embarcación, los componentes básicos para el correcto funcionamiento y la obtención de una alta fiabilidad son los siguientes:

- *Placas solares.*
- *Acumuladores eléctricos (baterías).*
- *Regulador de carga.*
- *Inversor o convertidor.*
- *Otros (temporizadores, interruptores, etc.)*

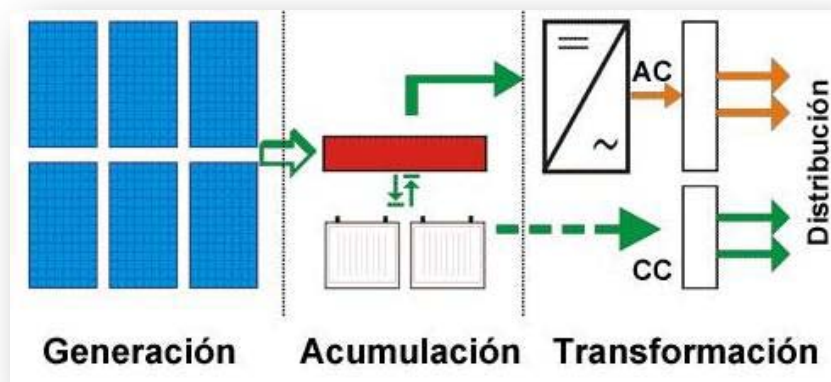


Fig. 6.1.- Diagrama del sistema fotovoltaico.

© www.energia-solar-fotovoltaica.info

6.1.- Breve descripción de los sistemas de una instalación fotovoltaica

6.1.1.- Sistema de generación

Los módulos solares actúan como generadores de energía, produciendo electricidad en forma de corriente continua. El número a instalar dependerá de factores como la insolación promedio del lugar, la potencia nominal de salida del panel seleccionado y de la carga, tanto régimen como tipo.

6.1.2.- Sistema de acumulación y regulación

Los acumuladores eléctricos o baterías, almacenan la energía y hacen posible el suministro eléctrico continuo, a pesar que la generación de energía eléctrica sea a intervalos.

Las baterías producen energía por medio de una transformación electroquímica, y pueden ser recargadas por medio de otra fuente de energía, volviendo los componentes químicos a su estado original. Dicha reacción es reversible, en un sentido se carga de energía y en otro sentido se descarga.

La función de los reguladores en una instalación solar autónoma es proteger a los acumuladores o baterías contra las sobrecargas. El regulador impide que las baterías continúen recibiendo carga del panel solar una vez que éste haya alcanzado su máxima carga, por tanto, previene el deterioro de la batería por medio de la gasificación o calentamiento de la misma, lo que acortaría sensiblemente la vida de ésta.

Otra función del regulador es la prevención de descargas profundas o no deseadas, a objeto de evitar que se agote en exceso la batería. Los reguladores pueden ser del tipo serie o paralelo, la diferencia reside en la forma que interrumpe el paso de corriente.

6.1.3.- Sistema de transformación

La finalidad principal de un inversor es adaptar las características de la corriente generada a la demandada total o parcialmente de las aplicaciones, es decir, adaptar la corriente continua procedente tanto de los paneles solares como de las baterías a corriente alterna, así como la modificación de la tensión e intensidad de las mismas, según se requiera por los elementos de consumo. No obstante, la energía generada puede utilizarse como corriente continua.

La utilización de un inversor no imposibilita el uso de aparatos a 12V (voltios) de corriente directa. Por lo que una instalación fotovoltaica que disponga de un inversor puede proveer energía eléctrica tanto a cargas de 12V como de 220V.

CAPITULO III: DISPOSICIÓN SISTEMA SOLAR

7.- Características energéticas de un velero

7.1.- Sistema energético de un velero

Generalmente las embarcaciones poseen dos o más bancos de baterías, regulados por un separador de carga, donde se puede distinguir un grupo de baterías (*Engine battery 1*) para el arranque del motor de combustión y el segundo grupo de baterías (*Service battery 2*) para la alimentación de los equipos de servicio, iluminación y electrodomésticos. También suelen disponer de un alternador para la carga de los acumuladores y un gestor del sistema (*Battery management system*).

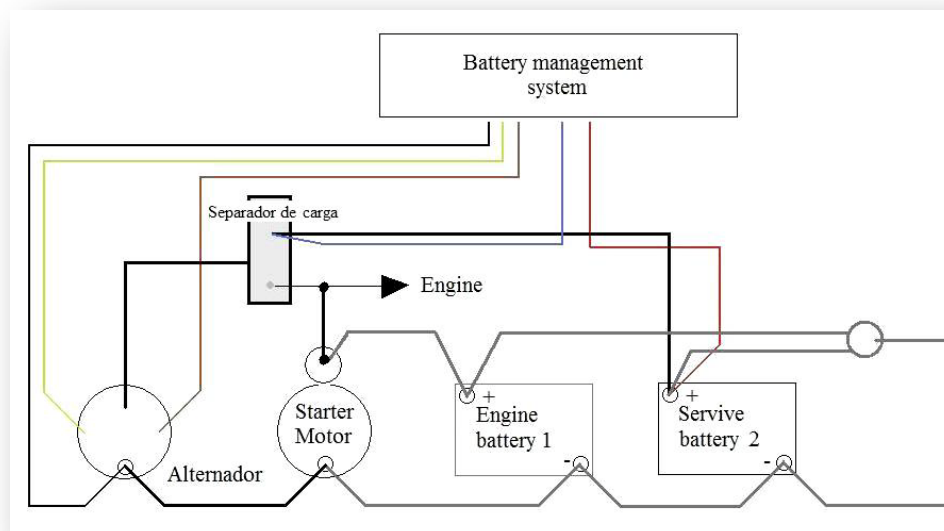


Fig. 7.1.- Diagrama de bloques del sistema energético en una embarcación pequeña.

7.1.1.- Sistema propulsivo

Las embarcaciones a vela precisan de una propulsión auxiliar, empleada generalmente en el momento de fondear, atracar en puerto o en caso de mal tiempo o falta de viento. Dicho sistema de propulsión auxiliar viene formado por el conjunto del eje de transmisión, el motor (motor combustión interna y depósito de combustible) y la hélice.

El secreto del diseño del sistema propulsivo de un velero reside en un compromiso en el funcionamiento del propulsor, que debe resultar aceptablemente adecuado para cada situación. Es decir, en el momento de fondear o atracar no es demasiado importante la potencia del motor a instalar, pero si el comportamiento de este a bajas revoluciones, tanto marcha avante como marcha atrás. En el caso de falta de viento lo importante es la velocidad que se puede alcanzar con la mínima potencia y la posibilidad de alejarse de situaciones peligrosas: fuertes corrientes, arrecifes, colisión, etc. Y durante las situaciones de mal tiempo se requiere una gran demanda de potencia y un gran empuje.

Asimismo la potencia del motor de una embarcación a vela vendrá condicionada por el desplazamiento de la misma y de su eslora de flotación.

7.1.2.- Sistema eléctrico

La electricidad en una embarcación de recreo se puede dividir en tres bloques de consumo. Primero se hallan los dispositivos de comunicación exterior tipo radio, radar, sónar, internet, GPS, etc. En segundo lugar la alimentación i control de los motores eléctricos y sistemas electrónicos, como el arranque del motor de combustión interna, la iluminación, los electrodomésticos, los sistemas de achique o bombas eléctricas, etc. Y finalmente los sensores de las diferentes variables que tienen importancia en la navegación (velocidades, temperaturas, profundidad, presiones, etc.).

7.2.- Sistema energético alternativo

Un sistema energético alternativo es aquel que se abastece de fuentes energéticas capaces de suplir las fuentes de energía convencionales de combustibles fósiles, petróleo, gas o carbón, ya sea por su menor efecto contaminante o por su posibilidad de renovación. En un velero constará de un sistema de propulsión que en lugar de utilizar motores de combustión para generar empuje y recargar las baterías, utilizará motores eléctricos abastecidos por acumuladores, los cuales serán recargados mediante fuentes de energía renovables, es decir, mediante la captación de energía solar, eólica, hidráulica, etc.

En el presente estudio se contempla inicialmente como fuente de energía renovable la captación de energía solar fotovoltaica que proporcionará la energía eléctrica para la alimentación de las baterías y motores eléctricos, cuyo propósito es desplazar la embarcación.

7.3.- Elección de la embarcación

Entre los aspectos a tener en cuenta para la elección de la embarcación, se contempla la zona de navegación, el tipo de velero y el previsible uso de la misma.

7.3.1.-Características del velero de estudio

El estudio se realiza en una embarcación a vela de la firma *Jeanneau*, modelo *Sun Light 30*, llamada *Breton*, la cual se halla atracada en el puerto de Sitges (Barcelona).

El velero de aproximadamente 8,90 metros de eslora, permite un máximo de seis (6) personas a bordo. Posee un baño, dos (2) camarotes, salón y cocina.

Eslora total	9,15 metros
Eslora de flotación	7,70 metros
Manga	3,23 metros
Puntal	1,60 metros
Desplazamiento	3.110 Kilogramos
Lastre	1.180 Kilogramos
Superficie vélica	19, 58 m ² Mayor 35,31 m ² Proa
Total	54,89 m ²
Motor	Volvo 18 Cv (13,24 kW)

Tabla. 7.1.- Características generales de la embarcación.

7.3.2.- Instalación eléctrica

La alimentación del sistema se compone de tres baterías de 45 Ah (amperios hora) cada una conectadas en serie y vinculadas mediante un selector. Dicho selector permite utilizar una batería para arrancar el motor y otra para servicios, o utilizar ambas a la vez, quedando la tercera como batería de reserva. De este modo se asegura tener siempre energía de reserva para arrancar el motor en caso de agotamiento de una de las baterías, obteniendo una batería equivalente de 12V y 90 Ah.

La instalación dispone de un cargador de baterías/toma de puerto para poder conectarse a la red mientras esté en puerto y convertidor de 12V a 220V.

7.3.3.- Elementos de consumo

7.3.3.1- Iluminación

- Luces de navegación
- Luces interior cabina
- Luces salón
- Luces cabina proa
- Luces cabina popa
- Luz baño
- Luces de fondeo
- Luz mesa de cartas

7.3.3.2.- Equipos de navegación

- Compas girocompás
- Piloto automático (*Raymarine SPX-5Tiller Drive Corepack*)
- Radio VHF (*Raymarine 49E ultra*)
- Corredera (*Raymarine ST60-Plus*)
- Batímetro (*Raymarine ST60-Plus*)
- Equipo de viento (*Raymarine ST60-Plus Wind system*)

7.3.3.3.- Bombas eléctricas

- Bomba de sentina
- Bomba presurización de agua dulce

7.3.3.4.- Electrodomésticos

- Equipo música
- Refrigerador

7.3.4.- Certificado e inventario

SUN - LIGHT 30

Plan Daniel ANDRIEU



Caractéristiques

Longueur hors tout	: 9,15 m
Longueur de coque	: 8,90 m
Longueur flottaison	: 7,70 m
Largeur hors tout	: 3,23 m
Tirant d'eau quille longue	: 1,78 m
Tirant d'eau quille courte	: 1,45 m
Tirant d'eau dériveur	: 1,10 / 2,00 m
Déplacement quillard	: 3100 kg environ
Poids lest plomb quille longue	: 1180 kg environ
Poids lest fonte quille courte	: 1180 kg environ
Poids lest fonte dériveur	: 1280 kg environ
Couchage propriétaire	: 6 personnes
Couchage team	: 7 personnes
Homologation : 2 ^e catégorie	: 6/8 personnes

Voilure :

	mât standard	mât long
Grand voile	: 17,67 m ²	: 19,58 m ²
Génois médium	: 30,33 m ²	: 35,31 m ²
Foc 1	: 22,14 m ²	: 24,36 m ²
Foc 2	: 14,42 m ²	: 15,36 m ²
Tourmentin	: 7,00 m ²	: 7,00 m ²
Spinnaker	: 68,80 m ²	: 74,70 m ²





MINISTERIO DE FOMENTO

**CERTIFICADO DE NAVEGABILIDAD PARA EMBARCACIONES DE RECREO
DE ESLORA MENOR DE 24 METROS.**

El presente Certificado llevará como suplemento un Inventario del equipo

Datos de la embarcación:

Nombre: BRETON		
Puerto de matrícula ...: VALENCIA		
Lista y folio: 7ª-722/02		
Marca y modelo: JEANNEAU		
Tipo: SUN LIGHT 30		
Número de serie: 38640		
Material del casco: POLIESTER REFORZADO		Año de construcción:
Categoría de diseño ...:		Categoría de navegación...: C
Eslora (m) ..: 8,83	⁽¹⁾ Manga (m) ..: 3,00	⁽²⁾ Puntal (m) ..: 1,60
Arqueo (TRB) ..: 8,26	Desplazamiento (Ton)..:	Carga máxima (kg)..: 600,00
Potencia máxima (KW) ..:		
Número máximo de personas permitidas a bordo: 6		

La embarcación queda sometida a los reconocimientos intermedios, periódicos o extraordinarios establecidos en el Real Decreto 1434/1999, de 10 de septiembre.

Expedido en PALAMOS a 05 de Julio de 2001

EL JEFE DE LA INSPECCION MARITIMA

Sello o estampilla, según corresponda, de la autoridad expedidora.

Nota:

1. El propietario de la embarcación es el responsable de mantener al día los reconocimientos prescritos, teniéndolos a disposición de las Autoridades del Certificado.
2. El incumplimiento de la anterior está sancionado por la Ley de 27/1992, de 24 de Noviembre, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante.

(1) Es la máxima anchura del casco en su proyección horizontal y medida en la cara exterior del forro.

(2) Es la máxima dimensión vertical medida a la mitad de la eslora desde la cara superior del trancil o línea de cubierta hasta la cara inferior del casco en su intersección con la quilla.



MINISTERIO DE FOMENTO

INVENTARIO ADJUNTO AL CERTIFICADO DE NAVEGABILIDAD PARA
EMBARCACIONES DE RECREO DE ESLORA MENOR DE 24 METROS.

El presente Inventario irá unido siempre al Certificado de Navegabilidad

Datos de la embarcación:

Nombre	Puerto de matrícula	Lista y Folio
BRETON	VALENCIA	7ª-120/11

EL JEFE DE LA INSPECCION MARITIMA DE PALAMOS

CERTIFICA:

Que el equipo exigido a la embarcación antedicha es el requerido para la categoría de navegación asignada, de acuerdo con la normativa vigente.

Expedido en PALAMOS, a 05 de Julio de 2001

EL JEFE DE LA INSPECCION MARITIMA

Sello o estampilla, según corresponda, de la autoridad expedidora.



INVENTARIO DE LA EMBARCACION:

1.- La maquinaria propulsora, constituida por:				
Marca.....:VOLVO PENTA		Potencia(kW)	R. P. M.	
Modelo.....:		N.1 1x13,24	3.200	
N.de serie...:33855		N.2		
Combustible :		N.3		
2.- Los grupos electrógenos están constituidos por grupos de corriente:				
	Grupo electrógeno	Tipo de corriente	Potencia (kW)	Voltaje
N.1	BATERIA	CONTINUA		12
3.- El equipo de achique y contraincendios está compuesto de:				
Bombas Eléctricas		Bombas Manuales		Bombas Acopladas
1		-		-
N.de Mangueras.....: -		Bocas de contraincendios : -		
Sistema Fijo contraincendios. : -		Detector de gases en habilitación : -		
Extintores..... 21B: 1		34B: 55B:		Otros:
Detector de incendios en Cámara de Máquinas: -				
Balde con Rabiza.....: 1		Achicador.....: -		
4.- El equipo de salvamento está compuesto de:				
N.de balsas.....: -				
N.de aros.....: -				
N.de chalecos salvavidas : 1 por persona		Con luces y rabiza....: 1		
Señales fumígenas flotantes : -		Bengalas de mano....: 6		
		Cohetes con paracaídas : 6		

8.- Dimensionado del sistema alternativo de propulsión

8.1.- Cálculo necesidades propulsivas

Deben considerarse dos aspectos importantes durante el diseño del sistema propulsivo; por un lado la hélice debe ser capaz de proporcionar la potencia necesaria para mover el barco y por otro lado se debe optimizar la resistencia al avance debida a la hélice mientras navega a vela.

Teniendo en cuenta que la embarcación seleccionada para la instalación del sistema solar fotovoltaico, emplea un motor diesel de 18 Cv, debido a la semejanza se ha considerado oportuno aprovechar el mismo sistema propulsivo adaptado en la embarcación RO 340 ECO de la firma Ronáutica mencionado con anterioridad. Por lo que no se han realizado los cálculos para el dimensionamiento del motor³⁴.

Se dispondrá de un motor eléctrico síncrono (corriente continua) de 7,5 Kw, el cual produce el mismo par de tiro que un motor de combustión interna diesel de 28 Cv, alimentado por ocho baterías tipo AGM de 48V con una capacidad de C10³⁵ a 160 Amperios. Conociendo que velocidad máxima que alcanzará será de 16/18 Kn (nudos) y la velocidad de crucero de 5/6 Kn. Por otra parte cuando la embarcación navega a vela el motor actúa como alternador que recarga las baterías con una capacidad de 50Ah.

8.1.1.- Características del motor eléctrico

Partiendo de los datos que se disponen, se realizan las siguientes operaciones para hallar la intensidad o corriente y el par motor, ampliando así la ficha técnica del citado motor eléctrico.

$$I_N = \frac{P}{V}$$

donde:

P: potencia del motor eléctrico en W.

I_N: intensidad nominal del motor en A (amperios).

V: tensión o voltaje del motor.

³⁴ Para la obtención de potencia a instalar, es necesario hallar la velocidad máxima que alcanza el velero, calculando mediante el número de Froude y Reynolds la resistencia al avance.

³⁵ La capacidad C de una batería es una medida de la cantidad de cargas y descargas que puede llegar a suministrar (amperios hora). El régimen de corriente se identifica con la expresión C10, donde el número indica las horas de descarga.

$$\Gamma = \frac{P}{\omega}$$

donde:

Γ : par motor en Newton metro (Nm).

ω : revoluciones del motor en radianes segundo (Rad/seg).

8.1.2.- Tabla de resultados

Potencia	7500 W
Tensión nominal	48 V
Revoluciones	1500 rpm
Intensidad	$I_N = \frac{7500}{48} = 156,25 A$
Par motor	$\Gamma = \frac{7500}{157} = 47,75 Nm$

8.2.- Dimensionado del equipo solar

A continuación se describen los pasos a realizar para el dimensionado de una instalación solar fotovoltaica aislada real, en donde se calcularán los metros cuadrados de células solares necesarios para proporcionar energía eléctrica suficiente a la instalación fotovoltaica, cuyo propósito es abastecer el consumo del sistema de propulsión alternativo (motor eléctrico), así como el suministro de energía a los servicios de la embarcación (dispositivos y equipos electrónicos).

8.2.1.- Evaluación del consumo

Primero se deben identificar los grupos de elementos según su consumo, es decir, elementos de corriente continua y corriente alterna. Por ello se realizará una tabla donde debe constar la descripción del equipo, la potencia de consumo (dato facilitado por el fabricante), el número de elementos o equipos, y las horas de funcionamiento (dato proporcionado por el armador).

Al tratarse de un velero deportivo, de pequeñas dimensiones, se considera una navegación de 5 horas diurnas, ya que se estima un uso recreativo durante días soleados.

Descripción	Amperios	Núm. Equipos	Potencia (w)	Horas/día	Consumo (Wh/día)
Corriente continua					
Extractor aire motor	6	2	144	5	720
Luz Cabina	0,4	1	5	-	-
Luz cabina proa	0,4	1	5	-	-
Luz cabina popa	0,4	1	5	-	-
Luz salón	0,6	1	8	-	-
Luz baño	0,4	1	5	-	-
Luces de fondeo	0,5	1	5	-	-
Luces de navegación	1	1	12	-	-
Luz mesa de cartas	0,5	1	6	-	-
Bomba de achique	3,5	1	42	0,034	1,428
Bomba presión agua	5	1	60	0,018	1,08
Piloto automático	5	1	60	1	60
Compás giroscópico	0,1	1	1,2	5	6
Instrumentos ³⁶	1	1	12	5	60
Radio VHF emisión	5	1	60	0,17	10,2
Radio VHF escucha	2		24	0,17	4,08
Radio VHF Stand-by	1		12	4,73	56,76
Reproductor CD	3	1	36	2	72
Consumo total					991,548
Corriente alterna					
Frigorífico	5	1	60	5	300
Consumo total					300

Tabla. 8.1.- Consumo de los equipos y servicios de la embarcación seleccionada durante la navegación diurna.

Descripción	Tensión (V)	Núm. Equipos	Potencia (w)	Horas/día ³⁷	Consumo (Wh/día)
Motor eléctrico	48	1	7500	1,50	11.250

Tabla. 8.2.- Consumo corriente continua motor eléctrico.

8.2.1.1.- Ecuaciones de consumo

El siguiente paso es conocer el consumo en corriente continua y en corriente alterna, respectivamente. Y obtener el consumo total de la instalación con la suma de ambos términos.

³⁶ Comprende equipo de viento, equipo de corredera y batímetro.

³⁷ Indicar que se ha establecido el uso del motor eléctrico durante 45 minutos para las maniobras de entrada y salida de puerto, respectivamente.

$$C_T = C_C + C_A$$

donde:

$$C_C = \frac{100+F_s}{100} * C_{DC}; \text{ es el consumo en corriente continúa.}$$

$$C_A = \frac{C_{AC}}{Rtdo}; \text{ es el consumo en corriente alterna.}$$

C_T : consumo total en Wh/día.

C_{DC} : consumo de los elementos de corriente continúa en Wh/día.

C_{AC} : consumo de los elementos de corriente alterna en Wh/día.

F_s : factor de seguridad del 10% si los datos de radiación se han tomado en malas condiciones (invierno). El porcentaje se debe incrementar en caso de utilizarse medias estadísticas de radiación, o bien si las condiciones climatológicas o de la propia instalación así lo aconsejan.

Rtdo: rendimiento del inversor.

8.2.1.2.- Resultados consumo servicios

$$C_C = 1,20 * 991,548 = 1.189,86 \text{ Wh/día}$$

$$C_A = \frac{300}{0,95} = 315,79 \text{ Wh/día}$$

$$C_T = 1.189,86 + 315,79 = 1.505,65 \text{ Wh/día}$$

Mencionar que se ha considerado un Factor de seguridad del 20%, debido a la utilización de medias estadísticas de radiación, asimismo se ha estimado un rendimiento del inversor del 95%, según catálogo de la firma Sterling power products.

8.2.1.3.- Resultados consumo motor

$$C_C = 1,20 * 11.250 = 13.500 \text{ Wh/día}$$

8.2.1.4.- Consumo total

Corresponde a la suma del consumo del motor más el consumo de los equipos y dispositivos.

$$C_{total} = 13.500 + 1.505,65 = 15.005,65 \text{ Wh/día}$$

8.2.2.- Elección del panel fotovoltaico

Posteriormente se procede a la elección del panel fotovoltaico específico para embarcaciones, los cuales se caracterizan por las siguientes características:

- Se puede andar por encima.
- Son lo suficientemente flexibles para adaptarse a la superficie de soporte.
- Son resistentes al agua salada y autolimpiantes.

No obstante, siendo el objetivo principal del presente proyecto encontrar la tecnología de energías renovables más adecuada para la instalación en un velero y poder conservar la estética clásica y romántica de la navegación a vela, la intención es utilizar como captador solar un módulo fino, flexible y adaptable como los descritos con anterioridad para poder trabajar como una vela y así cargar las baterías y propulsar la embarcación.

Puesto que se carece de información relativa a las especificaciones técnicas de los tejidos solares, se establece que para hallar los metros cuadrados necesarios, se realizarán los cálculos con los módulos ultrafinos de silicio amorfo de la firma Ibersolar y a los módulos flexibles de células CIGS Power portable de la firma Brunton, respectivamente³⁸, los cuales se hallan disponibles comercialmente.

Modelo	Tensión (V _{CC})	Tensión máx. (V _{CC})	Corriente (mA)	Potencia (W)	Peso (gr.)	Tamaño (mm)
Weatherpro PT-15-300	15,4	19	200	2,4	94,5	270 x 300
Solaris 52	12	14	3200	52	1.530,7	1372 x 812,8

Tabla. 8.3.- Especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos seleccionados.

³⁸ Ver Anexo VI "Catálogos paneles solares".

8.2.3.- Carga diaria a consumir

Una vez seleccionado el tipo y modelo de la célula fotoeléctrica a instalar, se procede a averiguar la carga consumida al día por la instalación, multiplicada por el factor de diseño del 15%.

8.2.3.1.- Ecuaciones de carga diaria a consumir

$$C_{CD} = \frac{100 + F_D}{100} * \frac{C_T}{\text{Tensión nominal de carga}}$$

F_D : factor de diseño. Este incremento, aproximadamente de un 15%, se añade al consumo real compensando así pequeños gastos de corriente eléctrica producidos por los reguladores de carga, autodescargas, pérdidas eléctricas en los conductores, etc.

Tensión nominal de carga: Tensión con la que se denomina al sistema o instalación. Tensión que ha sido prevista para su funcionamiento.

8.2.3.2.- Resultados carga diaria (servicios)

$$C_{CD} = 1,15 * \frac{1.505,65}{12 V} = 144,30 \text{ Ah/día}$$

8.2.3.3.- Resultados carga diaria (motor)

$$C_{CD} = 1,15 * \frac{13.500}{48 V} = 323,44 \text{ Ah/día}$$

8.2.3.4.- Resultados carga diaria total

$$C_{CDT} = 323,44 + 144,30 = 467,74 \text{ Ah/día}$$

8.2.4.- HSP de radiación solar

Horas de Sol Pico, es la unidad que mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m^2 , equivalente a $3,6 \text{ MJ/m}^2$.³⁹

Para el cálculo de las HSP se deben usar las tablas de radiación solar. La media de radiación solar en la provincia de Barcelona durante los meses de invierno, siendo estos considerados como el peor de los casos debido a que los días son más cortos y la radiación más baja, se establece en 7 MJ/m^2 .

Se debe tener en cuenta que la radiación viene en megajoules (MJ), y para transformarla en Horas Sol Pico es necesario aplicar, por definición la siguiente expresión:

$$HSP = \text{radiación} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \right) * \frac{1 \text{ kWh}}{3,6 \text{ MJ}} * \frac{1 \text{ m}^2}{1 \text{ kW}}$$

8.2.4.1.- Resultado HSP

$$7 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} * \frac{1 \text{ kWh}}{3,6 \text{ MJ}} * \frac{1 \text{ m}^2}{1 \text{ kW}} \approx 2 \text{ horas}$$

donde el factor de conversión corresponde a:

$$1 \text{ HSP} = \frac{1000 \text{ W} * 1 \text{ h}}{1 \text{ m}^2} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} * \frac{1 \text{ J/s}}{1 \text{ W}} = 3,6 \text{ MJ/m}^2$$

8.2.5.- Cantidad de paneles solares

En una instalación solar fotovoltaica constituida por paneles, es preciso calcular el número de paneles necesarios para captación de la energía total requerida, mediante las siguientes expresiones:

³⁹ Correspondiente a 1 Joules (J) x 10⁶. Unidad de medida de la energía, trabajo y calor. Se define como el trabajo realizado por la fuerza de un Newton en un desplazamiento de un metro.

Número total de paneles:

$$N_{PT} = \frac{C_{CD}}{HSP * I_p}$$

donde:

HSP: corresponde a las horas que resultan de dividir la energía producida por unidad de superficie a lo largo de un día entre el valor de potencia estándar de radiación sobre la superficie terrestre (1000 W/m²).

I_p: es la corriente máxima de pico que proporciona el panel (dato del fabricante).

Número de paneles en serie:

$$N_{PS} = \frac{\textit{Tensión nominal de carga}}{\textit{Tensión nominal de un panel}}$$

Número de paneles en paralelo:

$$N_{PP} = \frac{N_{PT}}{N_{PS}}$$

Siendo la potencia total de la captación:

$$\textit{Potencia de un panel * Número total de paneles}$$

No obstante, es necesario calcular la superficie necesaria en metros cuadrados, para obtener la energía requerida. Por ello se tendrán en cuenta las dimensiones de los paneles, obteniendo los metros cuadrados mediante la expresión:

$$\textit{Número total de paneles * Dimensiones de un panel}$$

8.2.5.1.- Resultado número de paneles

El número de paneles totales resulta de dividir la carga de consumo diario C_{CD} entre la multiplicación de las HSP por la corriente máxima capaz de proporcionar un panel. Así mismo se introducirá un factor de seguridad del 10%, asegurando así un correcto suministro de energía a los servicios y la energía restante, ayudará a la recarga de las baterías.

8.2.5.1.1.- Cálculos para módulos flexibles de Ibersolar⁴⁰

Considerando cada módulo de película delgada correspondiente a $0,081 \text{ m}^2$, en función de sus dimensiones, el número total de paneles vendrá dado por las siguientes ecuaciones:

a) Paneles necesarios para alimentar los servicios

No es necesaria la disposición de módulos en serie para la alimentación de los servicios, puesto que la tensión nominal de los módulos es superior (15,4V) a la tensión nominal de carga (12V).

$$N_{PP} = 1,1 * \frac{144,30}{2 * 0,2} \approx 397 \text{ paneles}$$

$$\text{Superficie} = 397 * 0,081 = 32,16 \text{ m}^2$$

b) Paneles necesarios para alimentar el motor

Para la alimentación del motor es necesaria la instalación de paneles en serie dado que la tensión nominal del mismo (48V) es superior a la tensión de los paneles (15,4V).

40

Modelo	Tensión (V _{cc})	Tensión máx. (V _{cc})	Corriente (mA)	Potencia (W)	Peso (gr.)	Tamaño (mm)
PT-15-300	15,4	19	200	2,4	94,5	270 x 300

Número total de paneles:

$$N_{PT} = 1,1 * \frac{323,44}{2 * 0,2} \approx 890 \text{ paneles}$$

$$\text{Superficie} = 890 * 0,081 = 72 \text{ m}^2$$

Número de paneles en serie:

$$N_{PS} = \frac{48}{15,4} = 3,12 \approx 4 \text{ paneles}$$

Número paneles en paralelo:

$$N_{PP} = \frac{890}{4} = 222,5 \text{ paneles}$$

Por lo tanto el esquema aproximado de la disposición de los paneles, corresponde a la instalación de 4 series de 223 paneles en paralelo, siendo la superficie necesaria de 72 m².

c) Paneles necesarios para alimentar todo el sistema

Teniendo en cuenta que se requieren 32,16 m² para alimentar el consumo de los servicios del velero y 72 m² para la alimentación del motor eléctrico, la superficie necesaria total es de aproximadamente 104,16 m².

Se han estimado condiciones ideales con una potencia de captación de 2,14 kW, sin atender a la inclinación⁴¹ de los captadores solares.

⁴¹ El máximo de captación solar se logra con la orientación hacia el sur, cuando se trata de una región del hemisferio norte, y con la inclinación de los colectores igual a la posición geográfica del lugar (latitud) o zona de captación.

8.2.5.1.2.- Cálculos para módulos flexibles de Brunton⁴²

Considerando cada módulo flexible equivalente a 1,115 m², en función de sus dimensiones, el número total de paneles vendrá dado por las siguientes ecuaciones:

a) Paneles necesarios para alimentar los servicios

Al disponer la tensión nominal de carga a 12V no es necesaria la instalación de paneles en serie, dado que la tensión de los módulos es de 12V.

$$N_{PP} = 1,1 * \frac{144,30}{2 * 3,2} \approx 25 \text{ paneles}$$

$$\text{Superficie} = 25 * 1,115 = 27,88 \text{ m}^2$$

b) Paneles necesarios para alimentar el motor

Para la alimentación del motor es necesaria la instalación de paneles en serie dado que la tensión nominal del mismo (48V) es superior a la tensión de los paneles (12V).

Número total de paneles:

$$N_{PT} = 1,1 * \frac{323,44}{2 * 3,2} = 56 \text{ paneles}$$

$$\text{Superficie} = 56 * 1,115 = 62,44 \text{ m}^2$$

42

Modelo	Tensión (V _{cc})	Tensión máx. (V _{cc})	Corriente (mA)	Potencia (W)	Peso (gr.)	Tamaño (mm)
Solaris 52	12	14	3200	52	1530,7	1372 x 812,8

Número de paneles en serie:

$$N_{PS} = \frac{48}{12} = 4 \text{ paneles}$$

Número paneles en paralelo:

$$N_{PP} = \frac{56}{4} = 14 \text{ paneles}$$

Por lo tanto el esquema aproximado de la disposición de los paneles, corresponde a la instalación de 4 series de 14 paneles en paralelo, siendo la superficie necesaria de 62,44 m².

c) Paneles necesarios para alimentar todo el sistema

Teniendo en cuenta que se requieren 27,88 m² para alimentar el consumo de los servicios del velero y 62,44 m² para la alimentación del motor eléctrico, la superficie necesaria total es de aproximadamente 90 m².

Se han estimado condiciones ideales, con una potencia de captación de 2,92 kW, sin atender a la inclinación de los captadores solares.

A continuación se detallan las expresiones para valorar la capacidad de las baterías, del regulador, del inversor y del cableado. Deben tenerse en cuenta para el dimensionado total de la instalación fotovoltaica. Sin embargo no se han evaluado por no ser objeto del presente estudio.

8.2.6.- Dimensionado de la batería

Posteriormente se procede a calcular la capacidad del acumulador, cálculo importante en una instalación fotovoltaica, puesto que el número de días de autonomía que se le debe proporcionar a una instalación estará marcado por dos factores fundamentales como

son la seguridad que necesite la instalación y la posibilidad de originarse días nublados consecutivos.

$$C_b = \frac{C_{CD} * N}{P_b}$$

donde:

N: número de días de autonomía.

P_b: es la máxima profundidad de descarga.

C_b: es el valor nominal de la carga.

Días de autonomía (N): produciéndose un día sin radiación solar, el acumulador pueda proporcionar al receptor la corriente necesaria para su correcto funcionamiento durante las horas previstas de diseño.

Profundidad de descarga (P_b): efecto que se produce en la batería, tanto diariamente durante la descarga nocturna, como en una descarga excepcional al producirse unos días de mal tiempo, representa un dato fundamental para el cálculo de la capacidad de acumulación. No obstante, el valor de la descarga máxima lo deberemos definir en función del tipo de batería que se utilice.

Facilitando así la elección del tipo y carga del acumulador, como de la elección y número de reguladores necesarios y el cálculo de la potencia del inversor a instalar.

8.2.7.- Dimensionado del regulador

El primer paso consiste en definir el tipo de regulador, bien en serie o en paralelo, y una vez definido este punto y calculado el número de paneles que se han de acoplar al regulador, se puede obtener el número necesario de reguladores mediante la expresión:

$$N_R = \frac{I_p * N_{PT}}{I_R}$$

donde:

N_R: es el número de reguladores.

I_p: intensidad máxima de pico del panel (dato del fabricante).

I_R: intensidad que soporta el regulador (dato del fabricante).

8.2.8.- Dimensionado del inversor

Para un sistema fotovoltaico aislado a la red de distribución eléctrica, es necesario evaluar la potencia máxima que tendrá que conectarse al inversor.

Para la elección del inversor de sistemas aislados, es necesario tener en cuenta la forma de onda producida, debido a que existen diversos tipos de inversores en función de dicha característica:

- Onda sinusoidal pura
- Onda trapezoidal
- Onda cuadrada

Los inversores de onda sinusoidal pura son los que producen una forma de onda prácticamente idéntica a la red eléctrica y, permiten alimentar cualquier tipo de carga. La potencia del convertidor vendrá determinada en función de la potencia de los aparatos de consumo de corriente alterna y del rendimiento del propio inversor.

$$W_C = \frac{W_{CONS}}{Rdto}$$

donde:

W_C: potencia del inversor o convertidor.

W_{CONS}: potencia de los consumos en corriente alterna.

Rdto: rendimiento del convertidor, estimado en aproximadamente un 85%.

8.2.9.- Cálculo de la sección del conductor

Los cálculos de las secciones de los conductores variarán dependiendo de si el cableado corresponde a la parte del circuito de corriente continua, corriente alterna monofásica o corriente alterna trifásica.

El cálculo de la sección del conductor de corriente es muy importante, debido a que fundamentalmente se trabaja con tensiones de 12V, 24V, 48V, la intensidad aumenta considerablemente haciendo que las pérdidas en los conductores eléctricos sean importantes debido al calentamiento.

Existen pérdidas de energía en todas las etapas del sistema fotovoltaico, por ello el diseño debe estimar dichas pérdidas y contemplarlas en los cálculos de dimensionado de los generadores, a fin de no perder el balance entre generación y consumo.

9.- Conclusión

El objetivo principal planteado en el proyecto fue realizar un estudio de viabilidad para la utilización/colocación de los nuevos elementos de captación solar en un velero, con intención de aprovechar la superficie vélica. Y así substituir el motor diesel por un sistema alternativo de energías renovables para la propulsión y suministro de energía a los servicios del velero.

Para ello, se ha realizado un estudio detallado de los procesos de fabricación, condiciones de trabajo, características y propiedades necesarias de los materiales utilizados para la confección de las mismas con objeto de analizar la posibilidad de introducir los nuevos captadores solares en las velas, como tejido o material de confección. Además del respectivo estudio de los diferentes tipos de células y paneles fotovoltaicos, junto al dimensionado de la instalación fotovoltaica.

Realizada la descripción de cómo se elaboran las velas y el uso de las nuevas tecnologías, se entiende que para la elaboración de una vela solar se debe crear un laminado de al menos tres o cuatro mantos. Dónde deben distinguirse principalmente:

- Un estrato de material solar o de captadores.
- Un estrato de material que proporcione la resistencia o fuerza de la vela (fibras).
- Un estrato que proporcione aislamiento.
- Y un cuarto estrato, dependiendo del tipo de módulo solar, donde se hallará el cableado eléctrico.

Siendo conveniente el estudio de las propiedades físicas y mecánicas del material a fin de conocer la resistencia del mismo a las presiones y temperaturas utilizadas en los procesos de laminación. Y la capacidad, además de captar energía solar, de resistir las tensiones y esfuerzos de trabajo de las velas.

En función de los cálculos realizados en el apartado 8.2.-*Dimensionado del equipo solar*, y para los módulos flexibles elegidos (apartado 8.2.5.1.1.- *Cálculos para módulos flexibles de Ibersolar* y apartado 8.2.5.1.2.- *Cálculos para módulos flexibles de Brunton*), es necesaria una superficie total de 104,16 m² y 90,32 m², respectivamente, para la instalación del grupo fotovoltaico responsable de la aportación de energía eléctrica, siendo superior a la superficie vélica disponible de 54,89 m² en la embarcación elegida para el estudio.

En el primer caso, se ha obtenido una superficie de 32,16 m², para el suministro de energía a los servicios y una superficie de 72 m² para la alimentación del motor eléctrico. Superando en 49,27 m² la superficie vélica.

En el segundo caso se ha obtenido una superficie de 27,88 m², para el suministro de energía a los servicios y una superficie de 64,44 m² para la alimentación del motor eléctrico. Superando en 35,43 m² la superficie vélica.

De los resultados obtenidos se entiende que la alimentación de ambos consumos eléctricos simultáneamente no es viable. Sin embargo, cabe mencionar que el suministro de energía a los sistemas y servicios del velero en ambos casos es asequible. En todo caso debe racionalizarse el tiempo de uso de los servicios, es decir, consumir energía de manera razonable, concienzuda y responsable, lo cual no supone una restricción en la navegación.

En cambio para la alimentación del motor eléctrico la superficie es mayor en 17 m² y en 7,55 m², respectivamente. Siendo una posible solución para la falta de metros, en el segundo caso, aprovechar la extensión de metros cuadrados disponibles como “red/guardamancebos” en los candeleros. Aún así, el suministro de energía para ambos sistemas no es factible.

Otro obstáculo reside en el peso de las velas. Se ha podido observar que estas suelen ser ligeras no superando los 10 kilogramos. Aunque eso no significa que no se hayan elaborado velas más pesadas y/o gruesas, en función del tipo de vela y de la embarcación a la que van destinadas. Por ejemplo el Buque-Escuela San Sebastián el Cano dispone de velas de poliéster (*Dracon*) con un gramaje de 480 gr/m², siendo la superficie vélica total de 3.151 m², con un peso de 1,5 Toneladas⁴³.

Pero para los módulos flexibles de Ibersolar el peso total equivaldría a:

1 módulo	0,945 Kg.
1.287 módulos	<i>Peso = 1.287 * 0,945 ≈ 1,3 Toneladas</i>

Como consecuencia de que se establecido que lo más sensato es utilizar la energía que proviene de los módulos solares para la alimentación de los servicios, el peso para éstos corresponde a:

397 módulos	<i>Peso = 397 * 0,945 ≈ 375,17 Kilogramos</i>
-------------	--

Y para los módulos flexibles de Brunton el peso total equivaldría a:

1 módulo	<i>Aprox. 1,5 Kg.</i>
81 módulos	<i>Peso = 81 * 1,5 ≈ 121,5 Kilogramos</i>

⁴³ 1 Tonelada es equivalente a 1.000 kilogramos.

Considerándose sólo los módulos de alimentación de servicios:

25 módulos

$$\text{Peso} = 25 * 1,5 \approx 37,5 \text{ Kilogramos}$$

El aumento de peso, en más de un 50%, condiciona el uso de las velas. Únicamente podrían izarse durante los momentos en los que la embarcación estuviera atracada, fondeada, o en los momentos en los que no hubiera viento, siendo utilizadas únicamente como captadores solares para recargar las baterías. Debido a que si se izaran como propulsor, al recibir el empuje del viento se crearía una fuerza vertical aerodinámica lo suficientemente grande como para volcar la embarcación. Aunque los valores obtenidos para la alimentación de los servicios mediante módulos flexibles Brunton, puedan considerarse reveladores, debe considerarse el estudio posterior del dimensionado del aparejo, es decir, el comportamiento de éste en función del peso añadido y la necesidad de reforzar la estructura de la embarcación.

No obstante, debe tenerse presente que el material adecuado para la confección de velas, serían los tejidos solares utilizados en la Soft House de la arquitecta Sheila Kennedy (Kennedy & Violich Architecture, Ltd.). De los cuales no se ha obtenido información, ni muestras para su estudio como captador solar o tejido resistente.

Se estima que dicho material, al ser utilizado como cortina, es mucho más ligero que los módulos flexibles utilizados para el presente estudio. Y poseen una potencia e intensidad de carga superiores, reduciendo así la superficie necesaria para propulsar un velero únicamente con energía solar.

En base a la información verbal facilitada por la Srta. Vanesa Bohe, de la firma Quantum Sails-Toni Tió, es conocido que las velas se puede pintar y/o coser parches de vinilo para la personalización e identificación de las mismas. Lo cual da lugar a la posibilidad de estudiar la aplicación de las células solares orgánicas o poliméricas en spray sobre la superficie de las velas, en cuanto sean accesibles comercialmente.

En cuanto a la instalación electrónica, se establece la necesidad de hacer dos instalaciones, una para la alimentación del motor y otra para los servicios, debido a la diferencia de voltaje, 48V y 12V respectivamente, el cableado será distinto.

Por otra parte, los módulos aquí expuestos, al poseer bajas potencias, la capacidad de regeneración para las baterías corresponde a:

Ibersolar:

$$\text{Amperios} \times \text{Hora} = 3,2 * 2 = 6,4 \text{ Ah}$$

Brunton

$$\text{Amperios} \times \text{Hora} = 0,2 * 2 = 0,4 \text{ Ah}$$

Considerándose el uso de los paneles durante las 2 horas, correspondientes a las HSP. Pero aún que fueran 5 horas, esta energía de regeneración es insuficiente para recargar las baterías del motor, ya que sólo con el arranque del motor quedan prácticamente descargadas. Únicamente el consumo del motor durante su uso, hace inviable la utilización de dichos captadores solares como única fuente de regeneración. No obstante, es factible para la alimentación de los servicios.

$$I_N = \frac{7500}{48} = 156,25 \text{ A}$$

$$\text{Amperios} \times \text{Hora} = 156,25 * 0,75 = 117,18 \text{ Ah}$$

A pesar de haber hallado resultados significativos para el suministro de energía solar mediante los módulos flexibles a los servicios y dispositivos de un velero, debe considerarse un posterior estudio de viabilidad en la selección de materiales para su instalación, que los elementos electrónicos se encuentren estandarizados en los catálogos comerciales de los fabricantes, así como la conexión de las baterías y división de la superficie vélica para la correcta alimentación. Y la posibilidad de complementar la energía solar con otras energías renovables como la energía eólica o hidráulica, como los sistemas de regeneración que presenta el RO340 ECO.

Después de realizar todo el estudio, se ha llegado a la conclusión que es necesario un material ligero y resistente, con potencia de captación y transformación elevada para la confección de velas náuticas. Sin embargo, a pesar de la carencia de información, se están obteniendo resultados favorables en la fabricación de las nuevas células solares. Tal vez todavía no se pueda alimentar un motor eléctrico de gran potencia, pero con el tiempo, las nuevas tecnologías estarán al alcance de todos permitiendo estudios en profundidad de las innumerables aplicaciones de los paneles solares.

III.- BIBLIOGRAFÍA

1.- Bibliografía

Libros:

- Schul, Joachim
Teoría y práctica de las velas: diseños nuevos, materiales nuevos trimado y optimización
Segunda Edición Madrid 2008. Ediciones Tutor.

- Chérte, Bertrand
Las velas: comprensión, trimado y optimización.
Ediciones Juventud, Barcelona 2.004.

- Trower, Gordon
Sails & rigging
Ramsbury (Regne Unit): Crowood Press, 1996

- Howard-Williams, Jeremy
Sails
Sexta edición. Ediciones London, Adlard Coles 1988

- Alemany, Carles
Polímeros y materiales de construcción navales.
Apuntes UPC 2007/2008

- Besednjack, Alejandro
Construcción de embarcaciones de recreo.
Apuntes UPC 2006/2007

- García, Severino
Termotecnia
Apuntes UPC 2007/2008

- Closas Torrente, Lluís
Electrónica Naval
Apuntes UPC 2008/2009

Proyectos:

- Del Castillo, Sergi
Las Velas.
PFC UPC 2007

- Vázquez Morillo, Jorge
Dimensionado de una instalación solar fotovoltaica autónoma en un velero.
PFC UPC 2007

- Lagarda Salazar, Helena
El veler que no contamina RO 340 ECO.
PFC UPC 2009

- Sanuy Moya, Eduard Maria
Estudi comparatiu de la propulsió d'un catamarà mitjançant un sistema convencional amb motor tèrmic i un sistema alternatiu utilitzan energia solar i motors elèctrics per a viatjar entre Barcelona i Mallorca.
PFC UPC 2009

- Martínez, David y García del Río, Marcos
Sistema propulsivo para un catamarán por cometa y paneles fotovoltaicos.
PFC UPC 2007

Webs:

- <http://erenovable.com/2008/06/26textiles-solares-o-paneles-solares-ultraflexibles>
- www.amazings.com/ciencia
- www.plusarquitectura.info/2008-08/integraci-n-nuevos-tipos-paneles-solares-arquitectura
- www.gstriatum.com/energía solar/articulosenergía/213-textiles-de-energía-solar.html
- www.moma.org
- www.brunton.com/catalog.php?cat=8
- www.kvarch.net
- www.portalforestal/información/2409-las-cortinas-solares-de-sheila-kennedy.html
- www.gstadium.com/energiasolar/articulosenergia
- www.ecofactory.es/2007/10/volitan-el-velero-solar.html
- www.depoorter.com
- www.northsails.com
- www.elsevier.com/locate/solmat
- www.dmsail.com/docs/velas_hisatoria.pdf
- www.textoscientíficos.com/polimeros
- www.solarsplash.com
- www.mardechile.cl/nautica/templates/clenblue/.../teoria_vela.pdf

- www.tendencias21.net
- www.solociencia.com
- www.g24i.com
- www.ibersolar.com
- www.elportaldelosbarcos.es
- www.icaen.es
- www.cener.org
- www.censolar.es
- www.solarweb.net
- www.fiernova.com
- www.solarsailor.com

Revistas:

- *REGATA*, No. 121 de 2.009. Ediciones Curt, S.A.
- *INGENIERIA NAVAL*, No. 863, Octubre 2.008. Revista editada por la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España.

Diccionarios:

- <http://es.thefreedictionary.com>
- www.rae.es/rae.html
- www.canalmar.com/diccionario-nautico.asp

- Diccionario enciclopédico Larousse.
- Diccionario Ideológico de la Lengua Española Vox.
- Diccionario de sinónimos y antónimos Vox.

Otros:

- Entrevista a Vanessa Bohe, en las instalaciones de la firma QUANTUM SAILS-TONI TIÓ en Vilassar de Dalt (Barcelona).