

# Cómo **DISEÑAR** *un* **BARCO**

---

Una guía paso a paso de  
todas las fases del diseño  
de barcos de motor y de veleros

John Teale



# *Cómo* **DISEÑAR** *un* **BARCO**

---

Una guía paso a paso de  
todas las fases del diseño  
de barcos de motor y de veleros

John Teale



Editor: Jesús Domingo  
Coordinación editorial: Lorenzo Sáenz  
Traducción: Cristina Puya  
Asesor técnico: Manuel Figueras

Primera edición: 2002, reimpreso en 2006

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni tampoco su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del *Copyright*.

Título original: *How to Design a Boat*

Publicado en U.K. por Adlard Coles Nautical, un sello de A & C Black (Publishers) Ltd., London

© 2002, 1998, 1992 by John Teale

© 2002 de la versión española  
by Ediciones Tutor, S.A.  
Marqués de Urquijo, 34. 28008 Madrid  
Tel.: 91 559 98 32. Fax: 91 541 02 35  
E-mail: info@edicionestutor.com  
www.edicionestutor.com



Socio fundador de la  
World Sports Publishers' Association  
(WSPA)

ISBN: 84-7902-356-2

Depósito legal: M-46.581-2005

Impreso en Fernández Ciudad  
Impreso en España – *Printed in Spain*

## Índice de contenidos

1. **Bocetos y cálculos preliminares** 7  
El equipo. El croquis inicial. Francobordo y arrufo. Manga. Calado del casco. Cálculo del desplazamiento
2. **Realización de los diseños preliminares** 21  
Desplazamiento. Centro de gravedad longitudinal (l<sub>cg</sub>) y centro de carena longitudinal (l<sub>cb</sub>). Otros tonelajes. Forma del casco. Doris. Pantoques redondos. Quillas de aleta. Orzas. Timones. Superficie vélica.
3. **Modos de realizar los planos** 43  
Tablero de dibujo. Junquillos. Pesas. Plantillas de curvas. Planímetro. Varios. Línea de alefriz (o rebajo). Popa de canoa, versión de pantoque redondo. Rejilla. Líneas de agua. Longitudinales. Diagonales. Curva de la superficie. Trazado de las líneas. Tabla de semimangas. Plano de formas del pantoque vivo. Proyección cónica. Centro vélico (CE) y «empuje».
4. **Diseño de barcos de motor** 69  
Relación velocidad/eslora. Formación de olas. Cascos de barcos de motor. Tipos de barcos que forman poca ola. Manga y centro de carena. Astilla muerta. Redones. Predicción de la velocidad. Cascos escalonados. Hélices. Popas de túnel.

6	<i>Cómo diseñar un barco</i>	
5.	<b>Resistencia, planos vélicos y equilibrio del casco</b>	93
	Resistencia. Coeficiente prismático. El aparejo. Equilibrio del casco. Relación de forma de los apéndices del casco. Quillas con alas. Las hélices en los barcos a vela.	
6.	<b>Observaciones sobre construcción</b>	109
	Construcción de contrachapado. Moldeado en frío. WEST (Técnica de Saturación de la Madera por Resina Epoxy). Madera tradicional (con variaciones). Diagonal doble. Tablazón de cintas en diagonal. Acero. Aleación de aluminio. Ferrocermeto. PRF (Plástico reforzado con fibra de vidrio)	
7.	<b>Estabilidad</b>	133
8.	<b>Observaciones adicionales sobre diseño</b>	141
	Alojamiento. Brusca. Candeleros y amuradas. Inclinación de los palos. Conclusión	
	<b>Glosario</b>	149
	<b>Índice alfabético</b>	153

## 1. Bocetos y cálculos preliminares

---

Cualquiera que tenga una vista razonable para dibujar una buena curva y una mínima noción de matemáticas puede diseñar un barco. El primer proyecto puede que no llegue a ser un campeón del mundo, pero, si consigue construirlo, navegará perfectamente y le proporcionará una gran satisfacción. Lo que más preocupa a la mayoría de las personas que lo intentan por primera vez es lo básico. ¿Cómo averiguar el calado que debe tener para que flote? ¿Dónde tengo que colocar la orza? ¿Qué superficie debería tener el timón? Y cosas así. En este libro le proporcionaremos respuestas sencillas a estas preguntas, aunque, al final, el lector interesado habrá avanzado tanto en el proceso de diseño que será capaz de examinar los planos publicados de cualquier tipo de embarcación, estudiarlos y, posteriormente, comprendiendo de lo que se trata, utilizarlos como base para realizar un diseño propio.

Al principio del proceso de diseño deberá conocer el peso aproximado del barco ya finalizado, así como tener alguna idea de cómo desea construirlo. La construcción es un tema muy amplio y existe gran cantidad de material escrito sobre métodos particulares que, aun así, dejan muchas posibilidades sin explorar. En el Capítulo 6 se proporcionan algunas directrices generales sobre estructura, aunque realmente el diseñador debe observar detenidamente ejemplares del tipo de construcción que le interesa y aprender de los mismos. Imagínese, mientras está dibujando, que es usted quien va a construir el barco y actúe en consecuencia.

## El equipo

Se necesita una considerable cantidad de instrumentos para llevar el diseño hasta la fase en la que se pueden presentar los planos a un constructor con cierta seguridad, aunque para realizar los bocetos de disposición iniciales únicamente se necesita:

- Un portaminas normal con varias minas HB y un afilador de tambor.
- Una regla de 2-3 pies (600-900 mm) de largo de cualquier clase.
- Una escuadra (de plástico transparente) de unas 8 pulgadas (200 mm) de lado.
- Una goma de lápiz de buena calidad.
- Una hoja de papel A1 (594 × 841 mm) especial para tiralíneas.
- Una regla a escala, con medidas anglosajonas o métricas, según prefiera, que tenga escalas útiles como  $\frac{1}{2}$  pulgada,  $\frac{3}{4}$  pulgada y 1 pulgada = 1 pie (o 1:25, 1:15 y 1:10 en el sistema métrico decimal). Es casi inútil intentar crear alguna escala ingeniosa, como, por ejemplo, 3,5 mm = 1 pulgada, con el fin de poder utilizar una regla de estudiante.

La plantilla de curvas más larga que existe también nos será útil en ocasiones, para acostumbrarnos a realizar bocetos a mano, complementada con una versión más pequeña con curvas más cerradas. En esta fase no es estrictamente obligatorio disponer de un tablero de dibujo: cualquier mesa de una altura adecuada nos servirá. En las tiendas de material de oficina y de dibujo encontrará todos los elementos citados. Posteriormente describiremos el equipo adicional necesario para los más ambiciosos.

## El croquis inicial

Ahora intentaremos dibujar los bocetos iniciales de la embarcación que aparece en la Fig. 1. Es un velero de paseo de 20 pies (6 m) de eslora. Sin jarcia y con una distribución diferente, también podría ser una embarcación con motor fueraborda, o incluso un barco con motor intraborda de poca potencia. En cualquier caso, la forma del casco sería la misma. No se preocupe por los exigüos instrumentos de dibujo de que dispone; con paciencia y utilizando generosamente la goma de borrar pueden elaborarse curvas asombrosamente precisas.

Hay que tener en cuenta lo siguiente:

**Loa** (*length overall*) es la eslora total, desde la roda hasta la popa, hasta la línea de crujía, sin contar las protuberancias tales como los baupreses y servioletas.

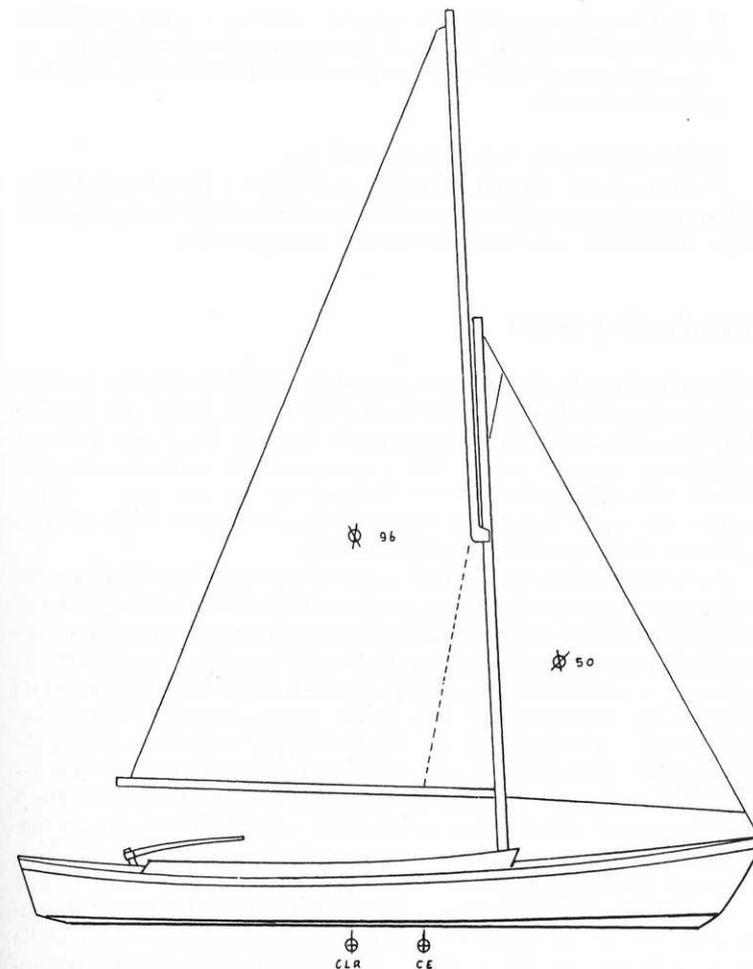


Fig. 1. Éste es el barco que utilizaremos como ejemplo, un velero de paseo de 20 pies (6 m).

**Lwl** (*length on the waterline*) es la eslora en la flotación.

**lwl** (*load waterline*) (caso inferior primero 1) es la línea de máxima carga; la línea de flotación en la que el barco está diseñado para flotar.

**Bwl** (*beam on the waterline*) es la manga en la flotación.

**D** (*depth*) es la profundidad (calado del casco) de la carena del casco principal, por debajo de la línea de flotación en el centro del barco. No es lo mismo que el calado, que se mide hasta el fondo de la quilla por su parte más profunda.

Todos estos términos se muestran en la Fig. 2.

Si contemplamos el perfil sobre el agua de la Fig. 1, la  $Lwl$  es de 17 pies (5,2 m), porque esta medida proporciona lo que se considera un perfil agradable en embarcaciones de una eslora total de 20 pies (6 m).

### Francobordo y arrufo

El **francobordo** es la altura sobre el agua del borde de la cubierta; los francobordos típicos en la proa se indican en la Fig. 3. En una eslora de flotación de 17 pies, el francobordo en la proa es de alrededor de 2,2 pies. La Fig. 2 también muestra que el francobordo en la popa es el francobordo de la proa dividido entre 1,4, de modo que la cifra resultante sería  $2,2 : 1,4 = 1,6$  pies. La parte más baja de la curva del arrufo está situada aproximadamente en los dos tercios de la eslora total a partir de la proa.

Estas observaciones relacionadas con el francobordo son únicamente orientaciones, pues muchos barcos modernos tienen bordes de cubierta más altos y menos curvos. Los francobordos altos constituyen obras muertas no deseables, aunque contribuyen a que el barco sea algo más seco y aumentan ligeramente la estabilidad retrasando el punto en el que la regala penetra en el agua. En ese momento la resistencia a una mayor escora disminuye de forma repentina. La brazola aumenta el francobordo y, si se coloca hacia atrás desde la borda, parece menos alta que las partes altas de los costados que llegan hasta la misma altura. Los arrufos invertidos y los que tienen forma de S pueden aumentar la altura en las zonas donde se requiera (para dar una mayor profundidad al casco, por ejemplo para alojamiento), aunque es difícil hacerlos visualmente atractivos.

Convencionalmente, la proa se dibuja mirando hacia la derecha, de manera que se vea el lado de estribor. En este costado se colocaba la espadilla grande, o de gobierno en los tiempos anteriores a la utilización de los timones. Tradicionalmente todavía es el lado más importante del barco, pues los camarotes y pasillos de estribor suelen estar destinados a los armadores y oficiales.

No se equivoque pensando que un arrufo en línea recta tendrá un aspecto más elegante. Probablemente no será así, porque, contemplado desde el costado, la línea de crujía del barco en la proa (y en menor medida en la popa) está más alejada de los ojos que el centro del barco. Esto origina la ilusión óptica de que los extremos caen hacia abajo. Si el arrufo va a ser recto,

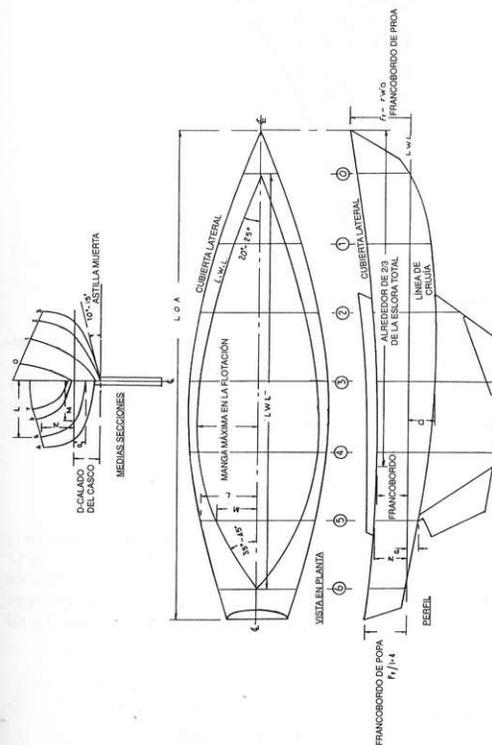


Fig. 2. Versión de pantoque redondo del velero de paseo en el que se indican algunos de los términos utilizados (como  $Lwl$  y eslora en la línea de flotación).

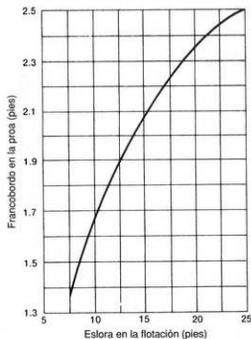


Fig. 3. Francobordo recomendado en la proa, basado en la eslora en la flotación.

entonces es necesario que la borda esté algo curvada hacia arriba, especialmente en la proa.

Ahora podemos completar el dibujo del perfil sobre el agua de la Fig. 1 añadiendo la superficie por debajo de la línea de máxima carga, pero primero tenemos que calcular la manga en la flotación.

## Manga

En la Fig. 4 se muestran posibles mangas en la flotación que se basan en la eslora en la flotación. En el ejemplo, la eslora en la flotación (Lwl) es de 17 pies (5,2 m) de manera que la Bwl (manga en la flotación) es de alrededor de 5,2 pies (1,6 m). La manga en la cubierta es de 1,1 a 1,2 veces la manga en la flotación, por lo que aquí la manga máxima sería de entre 5,7 pies (1,7 m) y 6,2 pies (1,9 m).

## Calado del casco

Otro gráfico, el de la Fig. 5, muestra la relación entre la manga en la flotación y el calado del casco principal por debajo de la línea de flotación en la sección maestra, D (Fig. 2). Un barco de orza será más ligero que uno de quilla de aleta, por lo que para una manga en la flotación de 5,2 pies, el calado del

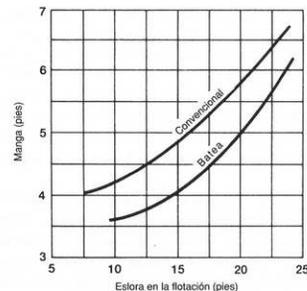


Fig. 4. Manga en la flotación sugerida, en su punto máximo, basada en la eslora en la flotación. Una batea es un barco con la carena plana cuyas características de diseño recomendadas se explican en el Capítulo 2.

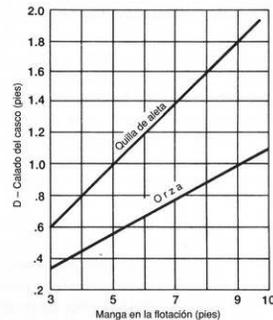


Fig. 5. Puntal aproximado del casco por debajo de la línea de flotación en la sección maestra, en barcos de quilla y barcos de orza. Basado en la manga en la flotación.

casco de un barco de orza sería de unos 0,57 pies, mientras que en el caso de un barco de quilla de aleta sería de poco más de 1 pie.

Existe otro sistema para calcular el calado del casco principal,  $D$ . Esto requiere la utilización de lo que se denomina el **coeficiente de bloque**,  $C_b$ . Éste es la relación entre el volumen real sumergido del casco y el producto de la eslora en la flotación, la manga en la flotación y el calado del casco en la sección maestra. En otras palabras, el coeficiente entre el volumen real comparado con el volumen si éste fuera una caja situada debajo el agua, es decir, sin forma alguna.

Por lo que,  $C_b = \Delta \times 35 / (L \times B \times D)$ , siendo  $\Delta$  el peso del casco en toneladas, es decir, su desplazamiento; pero en este momento no debe preocuparse por el término desplazamiento. En breve se lo explicaremos; de momento puede considerarlo como el peso del barco completamente equipado, con el suplemento especial de la tripulación, combustible, agua, mercancías y demás. El factor multiplicador, 35, convierte las toneladas al volumen equivalente en pies cúbicos de agua de mar (las explicaciones más tarde).  $L$  (*waterline length*) es la eslora en la flotación,  $B$  (*waterline beam*) la manga en la flotación y  $D$  el calado del casco en la sección maestra. Todas las medidas se indican en pies.

Lo que buscábamos con este cálculo potencial era  $D$ , por lo que podemos volver a escribir la fórmula como:  $D = \Delta \times 35 / (L \times B \times C_b)$ , y si el peso estuviera en libras en lugar de en toneladas, podríamos escribir:  $D = \Delta$  (en libras) /  $L \times B \times C_b \times 64$ .

Lo que todavía no tenemos es una cifra para  $C_b$ . Una aproximación (la cifra real dependerá, evidentemente, de lo finas que sean las líneas debajo del agua), para la forma de pantoque vivo es  $C_b =$  entre 0,34 y 0,36. En los modelos de pantoque redondo, la cifra será algo menor, supongamos que  $C_b = 0,32$ .

Hasta ahora hemos estado hablando de un velero de paseo de 20 pies (6 m). En este momento no conocemos su peso, aunque algún constructor de barcos o cualquier amigo posiblemente sea capaz de calcular el peso del casco, o quizás pueda informarse usted mismo: véase el Capítulo 2. A esa cifra deberá sumarle el peso de la tripulación, las velas, las perchas, el bote auxiliar, el combustible, el agua y todo lo que pueda llevar a bordo.

Supongamos que elegimos un modelo de pantoque vivo con orza. Un constructor podría calcular, por ejemplo, un peso de 650 lb (292,5 kg) para el casco. A esta cifra puede sumarle 400 lb (180 kg) de los demás equipos y piezas citadas. El total sería  $650 + 400 = 1.050$  lb (472 kg). Debe sustituirlo en la fórmula. Sabemos que la eslora es de 17 pies y la manga de 5,2 pies.  $D = \Delta$  (en libras) /  $(L \times B \times C_b \times 64)$  o bien, suponiendo que  $C_b$  es 0,34,  $D = 1.050 / (17 \times 5,2 \times 0,34 \times 64)$ . Es decir,  $D = 0,55$  pies. En la Fig. 5, en la que se muestra  $D$ , se halló una cifra de 0,57 pies, de manera que los dos bocetos diferentes han dado el mismo resultado, ¡lo cual es alentador! Estas cifras de  $D$  son bastante aproximadas, pero uno tiene que empezar por algún sitio, y posteriormente comprobar los resultados.

Se supone que un barco de quilla de aleta tiene un coeficiente de lastre de alrededor de un 33 por ciento. Es decir, que si el peso total, incluida la quilla, fuera de 1.800 lb y la quilla de aleta pesara 600 lb, el coeficiente de lastre sería de  $600 : 1.800$ , o 0,33, lo que significa el 33 por ciento.

De modo que ya tenemos los datos suficientes para realizar los primeros bocetos preliminares a mano del casco que vamos a construir. Conocemos la eslora total y la eslora en la flotación, al igual que las cifras de la manga total y de la manga en la flotación. Hemos decidido la línea del francobordo y la del arrufo, y calculado el calado del casco.

La Fig. 6 muestra un pantoque vivo, una versión con orza del velero de paseo de la Fig. 1. También podemos comenzar con este modelo de pantoque vivo, pues es el más fácil de diseñar (y de construir).

En primer lugar, dibuje una línea recta que represente la línea de máxima carga,  $lwl$ , de perfil, e intente dibujar un croquis de unas 12 pulgadas (300 mm) de largo. Esto significa que las escalas adecuadas serían  $1/2$  pulgada = 1 pie o 1:25. A una distancia adecuada por debajo de la línea de máxima carga  $lwl$  y exactamente paralela a la misma dibuje otra línea recta que sería la línea de crujía de la vista en planta. Una vista en planta es la forma del barco mirándolo desde arriba. Dibuje el perfil de la cubierta y después la quilla o la línea de crujía. Conocemos el calado del casco en la sección maestra por debajo de la línea de flotación,  $D$ , y en todos los barcos de poca velocidad, como éste, el fondo del espejo debe estar por encima de la línea de máxima carga, de modo que permita un flujo de agua uniforme alrededor de la popa.

Ahora, dibuje la línea de la cubierta en planta. Se ha decidido la máxima manga, y en esta versión podemos suponer que ésta se encuentra en la sección. Por su extremo de popa, la cubierta podría terminar en un espejo, tal como se muestra, o llegar hasta un punto, creando así una embarcación de proa noruega. Un barco de proa noruega es resbaladizo y marinero; una popa de espejo proporciona más espacio dentro del barco y puede permitir algo más de velocidad, especialmente navegando en un través o a un largo, o a motor. Un espejo demasiado ancho puede originar problemas al pasar las olas, si una ola grande levanta el amplio espejo flotante y, al hacerlo, empuja la proa dentro del agua. Éste es el comportamiento que adopta un barco inmediatamente ante una orzada, lo que resulta de lo más desagradable.

Una vez dibujada la línea de la cubierta en planta (que debería ser ligeramente más amplia en la mitad de popa que en la de proa, incluso en el caso de un barco de proa noruega), divida la eslora en la flotación en un número uniforme de espacios iguales. En el ejemplo se han utilizado seis divisiones, que se denominan ordenadas o perpendiculares. Al tener el barco una eslora de 17 pies (5,18 m) en la línea de flotación, las ordenadas están separadas  $17 : 6 = 2$  pies 10 pulgadas (0,86 m). Asegúrese de que las ordenadas sean verticales y paralelas entre sí.

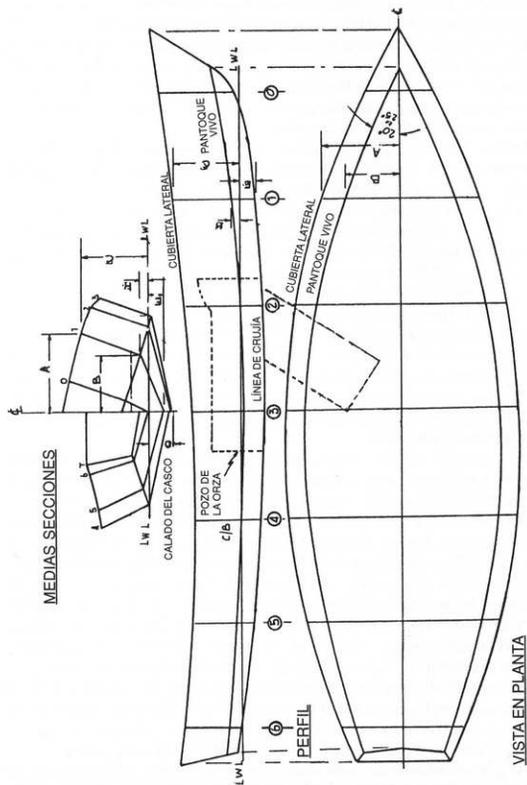


Fig. 6. Plano de formas de una versión del velero con pantoque vivo.

A continuación, dibuje media sección en la cuaderna maestra. Ésta es una sección transversal a través de un costado del casco. Conocemos la altura y la manga de la cubierta. A partir de este punto, dibuje una línea hacia abajo a través de la manga en la flotación (también conocida). Más tarde, desde la quilla o la línea de crujía en el calado del casco D y formando un ángulo de entre  $10^\circ$  y  $15^\circ$ , coloque la línea de la carena. El lugar en el que ésta corta la línea que baja desde el borde de la cubierta indicará la altura y la anchura del pantoque en la sección maestra. Este punto puede trasladarse a los dibujos del perfil y en planta. Por último, dibuje el pantoque vivo de perfil y en planta, más o menos paralelo a la línea de la cubierta y de la quilla respectivamente, antes de volver a sentarse para admirar el resultado.

Dibuje las demás medias secciones sobre las ordenadas 0-3 inclusive, a la derecha de la línea de crujía, y las ordenadas 4-6, inclusive, a la izquierda. La ordenada 1 está dibujada con detalle en la Fig. 6. Las medidas A, B, C, E y H deben ser iguales en todas las perspectivas.

Generalmente, un barco con la carena en V pronunciada o con astilla muerta escorará con más facilidad, pero ceñirá más eficazmente que a la izquierda con la carena plana. También se sumergirá algo más, lo que contribuirá a su rendimiento en ceñida, pues no existe un verdadero sustituto del calado del casco en el agua para contrarrestar el abatimiento. Los timones, quillas de construcción y quillas de balance contribuirán, evidentemente, pero no constituyen toda la respuesta. Los barcos con carenas en V menos profundas consiguen lo que se merecen al navegar a un través o a un largo y también a motor. La astilla muerta debe aumentar al acercarse a la proa, con el fin de reducir los pantocazos con mar de proa.

Contemplando la Fig. 6, puede que se pregunte por qué la forma de la línea de máxima carga (lw) vista en planta no está dibujada como aparece en la versión de pantoque redondo de la Fig. 2. Podría haberlo estado, pero su presencia no es demasiado útil en barcos de pantoque vivo, y ocasiona problemas en la corrección de líneas, que en esta fase es mejor evitar.

Probablemente, todo esto puede parecer un modo demasiado mecánico de dibujar un modelo especial de barco, pero no existe razón alguna por la que este barco de media cubierta no pueda transformarse en un pequeño crucero, añadiéndole una cabina. También podría ser un barco de proa noruega con una eslora y línea de arrufo completamente diferentes, sin que hubiera diferencia alguna en el proceso de diseño descrito hasta el momento.

A continuación, utilizaremos un sistema de comprobaciones para confirmar lo que hemos hecho en las fases iniciales, y dejar cierta libertad para efectuar correcciones. Indicamos aquí la primera de estas comprobaciones.

Debemos hallar el volumen de la zona sumergida del barco, por razones que explicaremos en el Capítulo 2 y, al mismo tiempo, calcular la posición

del centro de las superficies de proa y de popa del volumen sumergido. Este centro se conoce como **lcb** (*longitudinal centre of bouyancy*), **centro de carena**, y se establece utilizando multiplicadores, tal como se muestra en las Tablas 1 y 2. Es muy sencillo.

### Cálculo del desplazamiento

El volumen del desplazamiento se calcula hallando la superficie sumergida (por debajo de la línea de flotación a plena carga) de cada media sección y después colocando estas cifras en una tabla. Posteriormente, el volumen puede convertirse en peso, que debe ser igual al peso del barco; pero diremos más sobre ello en el Capítulo 2.

En un barco de pantoque vivo, las superficies pueden calcularse simplemente dividiendo cada media sección en rectángulos y triángulos, según corresponda. Recuerde que para cada media sección debe medir las superficies sólo a un lado de la línea de crujía.

Realizar el cálculo es sencillo y el ejemplo de la Tabla 2 se refiere al barco de 20 pies. Los Multiplicadores Simpson (SM) comienzan en 1 en la ordenada 0 y continúan en 4 y luego en 2, mientras sea necesario. Finalizan en 4 y, por último, otra vez en 1. Esto se representa en la Tabla 1 en relación con varios números de ordenadas. Los multiplicadores empiezan en 0, en la ordenada de la cuaderna maestra, y después siguen hacia fuera, en 1, 2, 3 y así sucesivamente, mientras sea necesario. Por último, el total de las medias superficies multiplicado por los Multiplicadores Simpson es el mismo multiplicado por el intervalo común (el espacio entre las ordenadas) y después por 2/3. Los intervalos comunes en este caso son 2 pies y 10 pulgadas o 2,83 pies (0,85 m). Aunque no había superficie en la ordenada 6, el extremo de popa de la eslora en la flotación, en el caso de un barco de motor con un espejo sumergido sí habría habido.

Hasta este momento, el resultado se indica en pies cúbicos. Para convertirlo en peso, hay que multiplicar por 64, pues un pie cúbico de agua de mar pesa 64 libras. Si el resultado hubiera estado en metros cúbicos, habría que multiplicarlo por 1.025, para hallar la cantidad en kg; un metro cúbico de agua de mar pesa 1.025 kg. Un pie cúbico de agua dulce pesa 62,5 libras (1.000 kg / m<sup>3</sup>).

En este momento tomamos el centro de carena (lcb), y sumamos los resultados de multiplicar por los factores: una cifra por la zona situada a proa de la sección maestra y otra por la zona de popa. La cantidad más pequeña se resta de la grande y este resultado se multiplica por la distancia entre las ordenadas (el intervalo común) y se divide entre la cifra del volumen sumergido que aparece debajo de la columna de Producto. El centro de carena (lcb) debe estar situado entre un 50 y un 55 por ciento de la eslora en la flotación a popa de la ordenada 0.

**Tabla 1.** Distribución del desplazamiento y cálculos del centro de carena para un número típico de ordenadas

Ordenada	Superficie	SM	Producto	Multiplicador	Producto
0		1		3	
1		4		2	
2		2		1	
3		4			TOTAL
4		2		1	
5		4		2	
6		1		3	
			TOTAL		TOTAL

Ordenada	Superficie	SM	Producto	Multiplicador	Producto
0		1		4	
1		4		3	
2		2		2	
3		4		1	
4		2			TOTAL
5		4		1	
6		2		2	
7		4		3	
8		1		4	
			TOTAL		TOTAL

Ordenada	Superficie	SM	Producto	Multiplicador	Producto
0		1		5	
1		4		4	
2		2		3	
3		4		2	
4		2		1	
5		4			TOTAL
6		2		1	
7		4		2	
8		2		3	
9		4		4	
10		1		5	
			TOTAL		TOTAL

**Tabla 2.** Desplazamiento y cálculo del centro de carena para la versión de pantoque vivo del velero de 20 pies, cuando todavía se encontraba en la fase de croquis dibujado a mano.

El intervalo común (espacio entre las ordenadas) = 2,83 pies

Ordenada	Superficie Pies cuadrados	SM	Producto	Multiplicador	Producto
0	—	1	—	3	—
1	0,21	4	0,84	2	1,68
2	0,65	2	1,30	1	1,30
					2,98
3	0,84	4	3,36	—	
4	0,64	2	1,28	1	1,28
5	0,29	4	1,16	2	2,32
6	—	1	—	3	—
			7,94		3,60

Desplazamiento en pies cúbicos =  $2/3 \times 7,94 \times 2,83 = 14,98$

Desplazamiento en libras =  $14,98 \times 64 = 958$  libras en agua salada

Centro de carena (lcb) =  $\frac{3,6 - 2,98}{7,94} \times 2,83 = 0,22$  pies a popa de la sección maestra

El lcb debería estar situado ligeramente a popa de la sección maestra, tal como está aquí.

Ya tenemos bastantes misterios matemáticos por el momento. En los capítulos siguientes le proporcionaremos más explicaciones y echaremos un vistazo al modelo de barco de quilla de pantoque redondo y a la versión de carena plana, o batea; así como a las posibles zonas para colocar los timones, las quillas de aleta, orzas y velas, para completar los primeros croquis.

## 2. Realización de los diseños preliminares

En este capítulo examinaremos el desplazamiento y los centros de gravedad y carena (lcg y lcb). A continuación podremos rellenar los esbozos iniciales con la incorporación del timón, la quilla o la orza, y las velas.

### Desplazamiento

Todo esto tiene que ver con el Principio de Arquímedes, que dice que el peso de un cuerpo flotante debe ser igual al peso del fluido desalojado. En otras palabras, si un barco fuera introducido despacio en un depósito lleno a rebosar de agua de mar, el peso del agua que fluiría por el borde del depósito sería exactamente igual al peso del barco. Lo mismo ocurriría si el líquido fuera mercurio, petróleo o agua dulce. Su peso desplazado sería el mismo que el del barco, aunque, evidentemente, el volumen del líquido que correspondería a ese peso sería diferente en cada caso. Muy poco mercurio sería desalojado (pasa algo así como 750 lb / pie cúbico, o 12.075 kg / m<sup>3</sup>) y, en comparación, sería desalojada una gran cantidad de petróleo, pues es más ligero que el agua de mar. El agua dulce también es más ligera, por lo cual, puesto que sería desalojado un volumen de líquido mayor, que correspondería al peso, el barco flotaría a mayor profundidad en agua dulce que en agua salada.

En el caso del barco de veinte pies, su volumen sumergido, suponiendo que flote a la profundidad que calculamos, es de 14,98 pies cúbicos (0,42 m<sup>3</sup>). Véase la Tabla 2 del Capítulo 1. Puesto que el agua de mar pesa 64 libras / pie cúbico (1.025 kg / m<sup>3</sup>), el peso del agua de mar desplazada deberá ser

14,98 × 64 = 958 lb (434 kg) y ése deberá ser también el peso del barco si flota en la lwl (línea de máxima carga).

¿Todo bien hasta ahora? El peso real del barco todavía se desconoce, aunque esperamos que sea de unas 958 lb (431 kg), el desplazamiento en nuestra línea de flotación deseada. Ahora debemos rectificar esa omisión.

La Tabla 3 nos proporciona los pesos de algunos materiales típicos de construcción de embarcaciones. En el caso de productos en planchas de acero, aleación de aluminio y contrachapado, el peso se indica en lb/pies cuadrados por milímetro de espesor y en kg/m<sup>2</sup> por milímetro de espesor. De este modo, 3 mm de acero pesan 3 × 1,6 = 4,8 libras/pie cuadrado (234 kg / m<sup>2</sup>), mientras que 9 mm de contrachapado tiene un peso de 9 × 0,137 = 1,23 libras/pie cuadrado (6,15 kg / m<sup>2</sup>).

**Tabla 3.** Pesos de materiales de construcción

Material	Peso	
	lb/pie cuadrado (kg/m <sup>3</sup> )	lb/mm grosor/pie cuadrado (kg/mm grosor/m <sup>2</sup> )
Cedro	24 (385)	
Caoba africana	32 (512)	
Abeto Douglas	33 (530)	
Abedul	35 (560)	
Teca	41 (655)	
Roble (inglés)	45 (720)	
Fundición	450 (7.200)	
Plomo	710 (11.400)	
Acero		1,6 (7,8)
Aleación de aluminio		0,56 (2,73)
Contrachapado		0,137 (0,67)

El cálculo del peso de un barco de 20 pies se indica en la Tabla 4. Todas las superficies de las estructuras de contrachapado son estimadas, lo mismo que el peso. Posteriormente se suman; en este caso, el resultado es de 266 lb. Después se le añaden dos tercios de esa cifra, que corresponden a las piezas de madera maciza, como los pantoques, bordas, quilla, palmejares, varengas estructurales y demás. Por lo que 266 lb más 177 lb hacen 443 libras, que representa el peso estimado del casco desnudo. Añadiéndoles el peso de los accesorios y el de la tripulación, tendremos un peso total de 873 libras.

Esta cifra se acerca bastante a nuestra cifra prevista de 958 lb, por lo que se puede iniciar el trabajo con cierta confianza. Después de todo, todavía hay mucho más peso que se podría añadir: ¿qué le parecería un motor fuera-

**Tabla 4.** Cálculos preliminares de pesos para un velero de paseo de 20 pies

Pieza	Grosor del contrachapado mm	Peso/pies cuadrados lb	Superficie pies cuadrados	Peso libras
Carena	9	1,2	81	97
Costados	9	1,2	64	77
Cubierta	6	0,83	25	20
Espejo	12	1,65	5	8
Pozo de la orza	12	1,65	12	20
Orza	24	3,3	6	19
Timón	24	3,3	5	17
Mamparos	6	0,83	10	8
<b>Total</b>				<b>266</b>
Añadir dos tercios				177
<b>Total</b>				<b>443</b>
Perchas y velas				55
Brazolas y panas				40
Bancadas y asientos				25
Herrajes				10
Tripulación				300
<b>Total</b>				<b>873</b>

borda y combustible; un ancla y una estacha, e incluso una cesta para la merienda? Y eso que, realmente, el plano de formas todavía se encuentra en sus inicios. En el peor de los casos, el barco podrá flotar un poco más alto sobre el agua. Sin embargo, si hubiera una gran diferencia en las cifras, habría que tomar medidas para aumentar o reducir el desplazamiento según corresponda. Por ejemplo, podríamos aumentar o reducir la manga; subir o bajar la línea de la quilla, o modificar la línea del pantoque. Ninguna de estas acciones tendría demasiado efecto sobre el peso estructural, pero, llevado a cabo de forma temeraria, podría alterar el desplazamiento de modo espectacular.

En este modelo se han sumado dos tercios del peso del material en planchas debido a la estructura de madera maciza. Dos tercios es una cifra arbitraria, aunque bastante razonable en lo que respecta a la construcción convencional de pantoque vivo. Sin embargo, en los métodos modernos de estructuras más ligeras, en los que se utilizan de forma generalizada uniones de epoxy/fibra de vidrio y en los que los pantoques y bordas pueden estar realizados con capas de resina/fibra de vidrio, la cifra de dos tercios puede cambiarse por un tercio. Esto último también debe hacerse cuando se trate de acero, aleación de aluminio e incluso fibra de vidrio, en los que las superficies del casco, mamparos y demás se utilizan como base.

Por otra parte, en un barco de pantoque con cuadernas muy pesadas, la madera maciza puede muy bien pesar lo mismo que el contrachapado. La Tabla 5 lo demuestra en el caso de un bote auxiliar de crucero de 14 pies y 6 pulgadas por 6 pies y 9 pulgadas (4,4 m x 2 m) (Figs. 7, 8 y 9). Al final, se ha añadido un 10 por ciento al total, ¡por las muchas cosas que se nos han olvidado!

La Fig. 8 muestra una sección estructural del barco que, accidentalmente, tiene un doble fondo que desagua en la limera del timón. La tripulación utiliza asientos alistonados situados dentro del barco. La orza y el timón no se incluyen en la lista de madera, pues son de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRF).

De manera que, si tiene dudas sobre la proporción de peso entre el material en planchas y el macizo, haga un cálculo aproximado para que pueda descansar tranquilo. Si se trata de construcción tradicional de madera, siempre habrá que añadir las piezas individuales y no fiarse de las proporciones.

La Tabla 6 muestra el cálculo del desplazamiento para el bote auxiliar de crucero de 14 pies y 6 pulgadas (4,35 m) de la Fig. 7. El desplazamiento as-

**Tabla 5.** Cálculos preliminares de pesos para un bote de 14 pies 6 pulgadas

Pieza	Escantillón	Peso por pie o pie cuadrado	Superficie pies cuadrados	Peso libras
<b>Contrachapado</b>				
Cubierta de proa	6 mm	0,825 lb	6	5
Costados del casco	6 mm	0,825	60	50
Carena del casco	6 mm	0,825	82	68
Doble fondo	9 mm	1,24	66	83
Espejo de popa	9 mm	1,24	3	4
Pozo de la orza	9 mm	1,24	14	17
Limera del timón	9 mm	1,24	4	5
Varengas	9 mm	1,24	14	18
				250 lb
<b>Longitudinales</b>				
	<i>Pulgadas</i>		<i>pies run</i>	
	2 1/2 x 1 1/4	0,73	126	92
	1 1/4 x 1	0,30	36	11
	9 x 1	2,12	28	60
	4 x 1	0,94	28	26
	4 1/2 x 2	2,12	17	36
				225 lb
<b>Transversales</b>	2 1/2 x 1 1/4	0,73	100	73 lb

Total = 250 + 225 + 73 = 548

Más 10% = 603 libras

ciende a 850 lb (382 kg), lo que se corresponde muy bien con el peso total de 603 lb (271 kg) antes de instalar las piezas. Como tema interesante diremos que el coeficiente de bloque ya ha sido calculado; ¿se acuerda que lo citábamos en el Capítulo 1? En este caso es de 0,36, lo que está conforme con la cifra prevista de entre 0,34 y 0,36.

Asimismo, en el Capítulo 1 se sugirió que el centro de carena (lcb) estuviera situado entre el 50 y el 55 por ciento de la eslora en la flotación a popa de la ordenada 0. En este caso está en el 55 por ciento, por lo que está bien.

Sin embargo, tenemos que hacer más cálculos.

### Centro de gravedad longitudinal (lcg) y centro de carena longitudinal (lcb)

Volviendo al concepto del depósito lleno de agua en el que flota una embarcación, imagínese que el agua está helada y que el barco se saca. Se formaría una concavidad en el hielo que correspondería a la forma sumergida del barco. Ésta debe tener un centro de superficie. Después de todo, si la

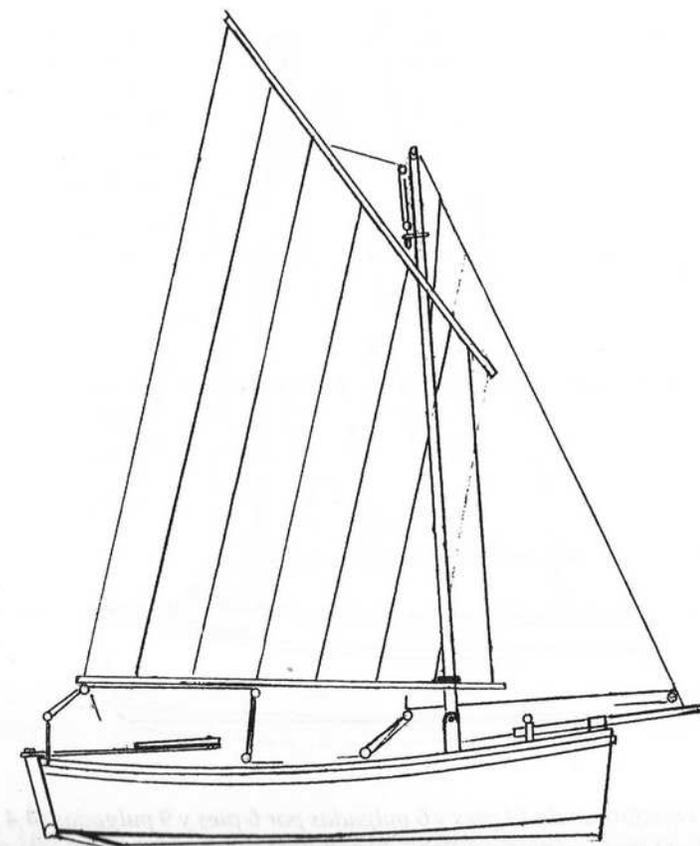


Fig. 7. Bote de 14 pies y 6 pulgadas con bañera autovaciante con arrufo de 6 pulgadas.

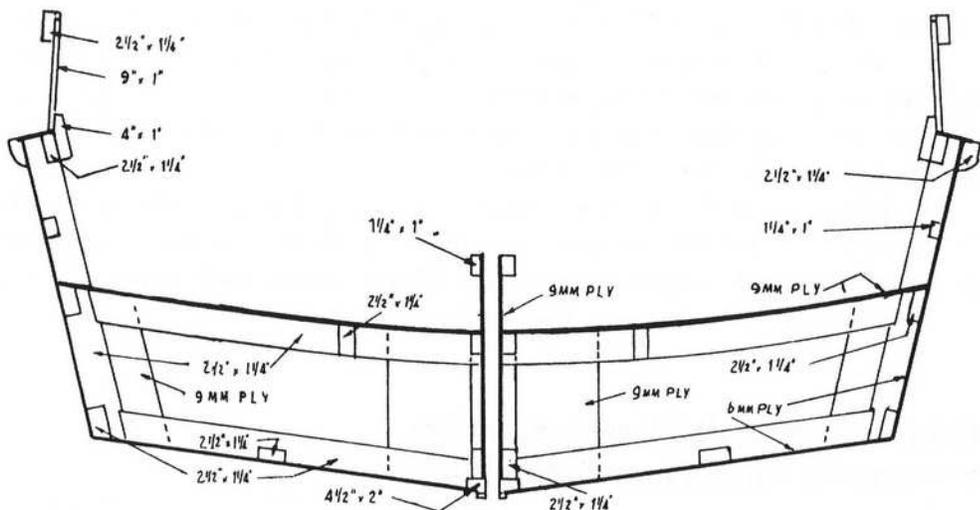


Fig. 8A. Sección de escantillón del bote de crucero, utilizada para los cálculos de pesos preliminares.

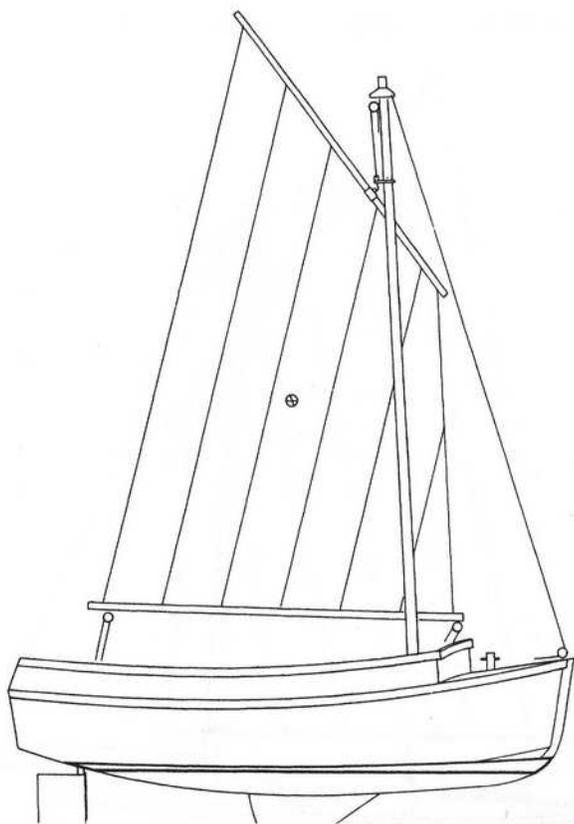


Fig. 8B. Bote equilibrado de 14 pies y 6 pulgadas por 6 pies y 9 pulgadas (4,4 por 2 m) con aparejo de vela al tercio y una superficie vélica de 80 pies cuadrados (7,4 m<sup>2</sup>). El timón pasa por una bocina de limera y el espejo está separado por un largo eje fueraborda.

concauidad fuera utilizada como un molde, y echáramos cemento dentro y más tarde lo sacásemos después de que hubiera fraguado, tendría un punto de equilibrio. Este punto se conoce como centro de carena longitudinal (lcb, o *longitudinal centre of bouyancy*) y el barco gira alrededor de éste en el agua. La posición del lcb se ha calculado para el barco de 20 pies en la Tabla 2; dicho lcb resultó estar a una distancia de 0,22 pies a popa de la sección maestra. La forma sumergida también tiene un centro de superficie vertical conocido como centro de carena vertical (vcb, o *vertical centre of bouyancy*) situado a cierta distancia por debajo de la línea de flotación, pero en este momento no tiene interés.

Ahora debemos hallar el centro longitudinal de todos los pesos relacionados con el barco (si el casco estuviera equilibrado fuera del agua giraría alrededor de este punto que se conoce como centro longitudinal de gravedad (lcg, o *longitudinal centre of gravity*). Para ello, seguimos utilizando el cálculo de

Tabla 6. Cálculos de desplazamiento para un bote de 14 pies y 6 pulgadas

Cuaderna u ordenada	Superficie Pies cuadrados	SM	Producto	Multiplicador	Producto
0	—	1	—	3	—
1	0,14	4	0,56	2	1,12
2	0,58	2	1,16	1	1,16
3	1,06	4	4,24		2,28
4	1,10	2	2,20	1	2,20
5	0,45	4	1,80	2	3,60
6	—	1	—	3	—
			9,96		5,80

Desplazamiento en la Lwl (eslora en la flotación). Cuadernas con separación de 2 pies  
Escala 1 pulgada = 1 pie

$$\text{Desplazamiento} = 2/3 \times 9,96 \text{ pies} \times 2 \times 64 = 850 \text{ libras}$$

$$\text{Coeficiente de bloque (Cb)} : \frac{850}{12 \times 5,75 \times 0,54 \times 64} = 0,36$$

$$\text{Centro de carena (lcb)} = \frac{(5,8 - 2,28)}{9,96} \times 2 = 0,7 \text{ a popa de la ordenada 3}$$

Si el lcb está 0,7 pies a popa de la ordenada 3, se encuentra a 6,7 pies de la ordenada 0 (las ordenadas están a una distancia de 2 pies). De este modo, el lcb se encuentra en:

$$\text{lcb} = \frac{6,7}{12} \times 100 = 55 \text{ por ciento de la eslora en la flotación a popa de la ordenada 0 (la eslora en la flotación es de 12 pies)}$$

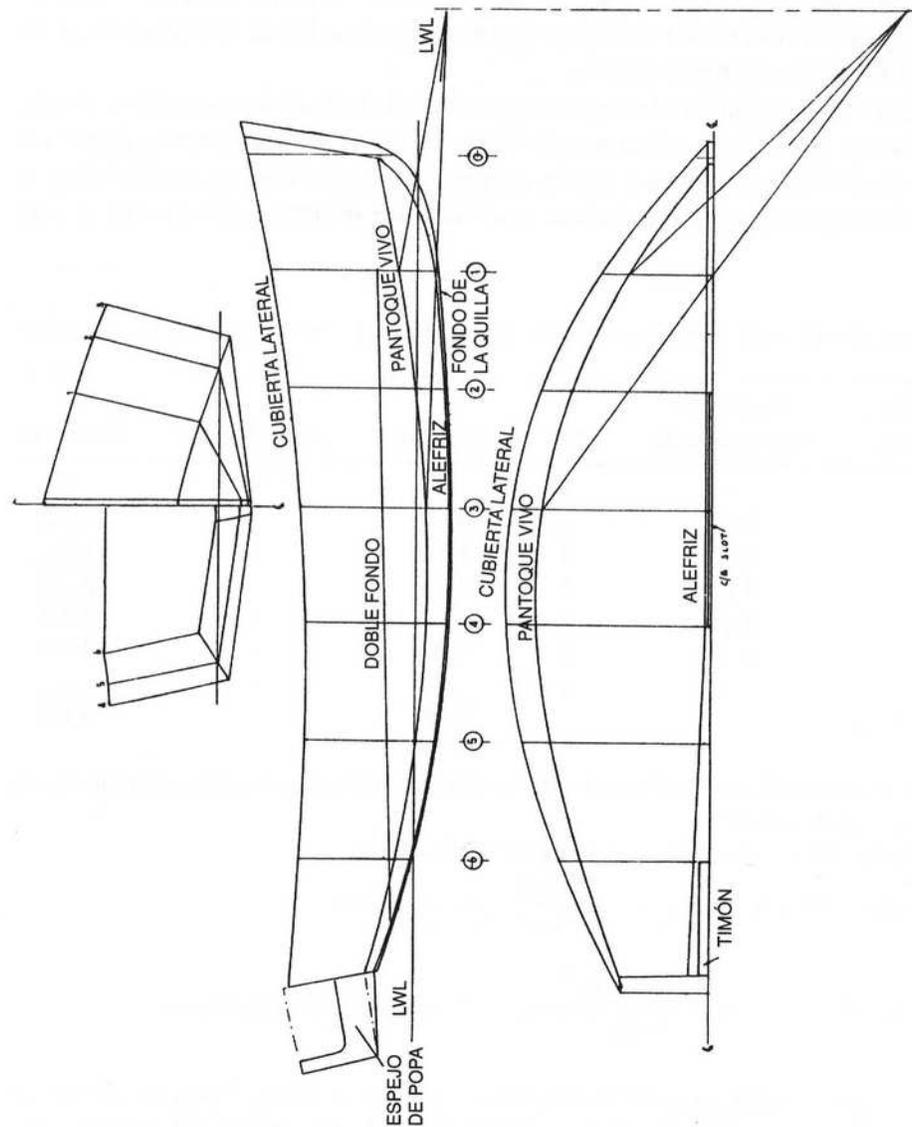


Fig. 9. Primer borrador del plano de formas del bote de 14 pies y 6 pulgadas. Las diagonales que cortan la sección de proa son líneas generatrices de la proyección cónica que explicaremos en el Capítulo 3.

pesos realizado de la Tabla 4. La Tabla 7 indica los cálculos. Para cada uno de los pesos previamente utilizados, se calcula y se anota, según se indica, un centro de área longitudinal o posición de gravedad. Después se multiplican los pesos y su distancia a proa o a popa de la sección maestra. Sumamos las diferentes cifras; después, una pequeña resta y enseguida aparece la cifra del lcg. Resulta que está a una distancia de 0,6 pies a popa de la cruzía.

La distancia entre las posiciones del lcb (Tabla 2) y el lcg (Tabla 7) es pequeña (0,38 pies) y no es digna de interés, aunque las consecuencias de un hueco amplio entre los dos centros se muestran en la Fig. 10. El barco calará hasta que el nuevo lcb (nuevo porque el trimado ha modificado la forma sumergida del casco) esté alineado con el lcg.

En un barco como éste, en el que el peso de la tripulación es un factor importante y móvil, y en el que las piezas en las que no hemos pensado están diseminadas a bordo para ser estibadas de manera aleatoria, sólo podemos hacer un ligero ajuste del trimado cuando el barco está a flote. Sin

Tabla 6 Cálculos de desplazamiento para un bote de 14 pies y 6 pulgadas

Cuaderna u ordenada	Superficie Pies cuadrados	SM	Producto	Multiplicador	Producto
0	—	1	—	3	—
1	0,14	4	0,56	2	1,12
2	0,58	2	1,16	1	1,16
3	1,06	4	4,24		2,28
4	1,10	2	2,20	1	2,20
5	0,45	4	1,80	2	3,60
6	—	1	—	3	—
			9,96		5,80

Desplazamiento en la Lwl (eslora en la flotación). Cuadernas con separación de 2 pies

Escala 1 pulgada = 1 pie

Desplazamiento =  $\frac{2}{3} \times 9,96 \text{ pies} \times 2 \times 64 = 850 \text{ libras}$

Coeficiente de bloque ( $C_b$ ):  $\frac{850}{12 \times 5,75 \times 0,54 \times 64} = 0,36$

Centro de carena (lcb) =  $\frac{(5,8 - 2,28) \times 2}{9,96} = 0,7$  a popa de la ordenada 3

Si el lcb está 0,7 pies a popa de la ordenada 3, se encuentra a 6,7 pies de la ordenada 0 (las ordenadas están a una distancia de 2 pies). De este modo, el lcb se encuentra en:

$$lcb = \frac{6,7}{12} \times 100 = 55 \text{ por ciento de la eslora en la flotación a popa de la ordenada 0 (la eslora en la flotación es de 12 pies)}$$

**Tabla 7.** Cálculo del centro de gravedad longitudinal (l<sub>cg</sub>) en un velero de 20 pies

Pieza	Peso libras	l <sub>cg</sub> desde la sección maestra		Momento	
		Pies		Libras pies	
		Proa	Popa	Proa	Popa
Carena	97	—	—	—	—
Costados	77	—	—	—	—
Cubierta	20	2,0	—	40	—
Espejo	8	—	9,25	—	74
Pozo de la orza	20	1,25	—	25	—
Orza	19	1,25	—	24	—
Timón	17	—	10,00	—	170
Mamparos	8	—	1,5	—	12
<b>Total</b>	<b>266</b>			<b>89</b>	<b>256</b>

Hasta ahora el l<sub>cg</sub> está  $\frac{256 - 89}{266} = 0,65$  pies a popa de la maestra

Utilice esta información para la siguiente pieza

Dos tercios de casco de contrachapado	177		0,65		115
Velas y perchas	55	3,25		179	
Brazolas, panas	40		1,0		40
Bancadas, asientos	25		4,0		100
Herrajes	10	—	—	—	—
Tripulación	300		1,0		300
<b>Total</b>	<b>873</b>			<b>268</b>	<b>811</b>

El l<sub>cg</sub> final está situado  $\frac{811 - 268}{873} = 0,6$  pies a popa de la sección maestra

Cuando en la columna del l<sub>cg</sub> o del Momento hay una raya, se da por supuesto que el l<sub>cg</sub> está en la sección maestra (el **momento** es el peso por la distancia).

embargo, con el fin de lograr un trimado sin diferencia de calados sólo con los pesos considerados, o bien añadimos peso en la proa, o afinamos las líneas del casco en la proa y las aumentamos en la popa para llevar el l<sub>cb</sub> a proa debajo del l<sub>cg</sub>. Probablemente, esto podría lograrse con más facilidad bajando la línea del pantoque hacia la popa y subiéndola en la proa. Después de estas modificaciones, hay que comprobar que el desplazamiento sigue siendo el requerido y que todas las líneas de proa y de popa son correctas.

En la práctica, el l<sub>cg</sub> del casco desnudo casi siempre termina por estar cerca de la sección maestra y los ajustes se llevan a cabo con los accesorios. De este modo, trasladando un motor y/o sus baterías podemos modificar bas-

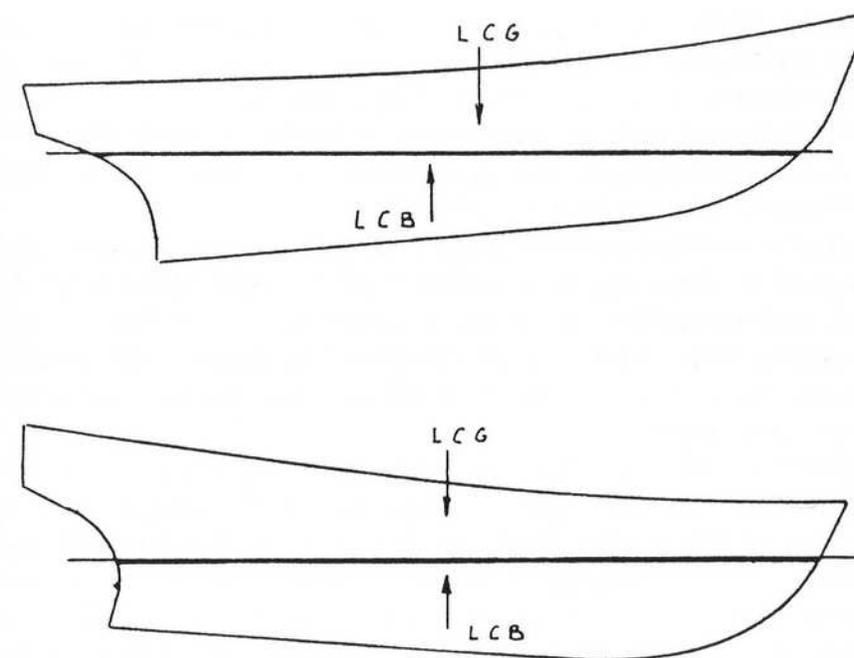


Fig. 10. Si el l<sub>cb</sub> y el l<sub>cg</sub> no están alineados, el barco modificará su asiento hasta que lo estén.

tante el l<sub>cg</sub>. Quizás se pueda estibar la cadena del ancla en otro lugar distinto del pozo de cadenas justo a proa. Podemos colocar las botellas de gas en algún lugar donde puedan contribuir a lograr el equilibrio. Como último recurso, colocando un poco de lastre dentro, se podría solucionar el asunto. Aunque tengamos la tentación, no debemos utilizar materiales como combustible y agua para ayudarnos a situar un l<sub>cg</sub> recalcitrante. Éstos deben colocarse lo más cerca posible del l<sub>cb</sub>, para que su peso en constante modificación no ejerza un papel demasiado nefasto respecto al trimado. En el cálculo del l<sub>cg</sub> debe incluirse el peso del depósito a medio llenar, y el cálculo de los momentos debe realizarse de igual manera que en el caso de todos los demás artículos.

Con esto termina, más o menos, la parte de cálculo, por lo menos en lo que respecta a los bocetos preliminares.

## Otros tonelajes

A la hora de describir los barcos y yates (a menudo incorrectamente) se emplean diferentes tonelajes: arqueado de registro, tonelaje del Támesis y peso muerto.

El arqueado de registro es la cifra que está grabada en la manga principal de un yate, o que aparece de cualquier otra forma permanente y prominente.

te. A pesar de su denominación, no es en ningún modo un peso, sino una estimación del volumen interior del barco realizada por el Ministerio de Transportes (o por quien actúe en su nombre, lo que suele ocurrir en el caso de los yates). Si el volumen viene indicado en pies cúbicos, éste se divide entre 100 y se denomina en toneladas. Si está expresado en metros cúbicos se divide entre 2,83 para obtener el mismo resultado.

Cuando se efectúan mediciones para hallar el volumen, existen determinados espacios exentos que no se miden, como los dobles fondos que llevan lastre de agua. Esta primera respuesta se denomina tonelaje bruto, y a partir de éste pueden deducirse áreas como las salas de máquinas y de navegación, los alojamientos de la tripulación y otras más, lo que nos proporciona el tonelaje neto o de arqueo.

El término «toneladas» utilizado en este contexto puede proceder del hecho de que el peso de los buques de carga se calculaba antiguamente según el número de toneles o «tuns» de vino que podían transportar. Tradicionalmente, los derechos de puerto se pagaban sobre el tonelaje neto, si bien los tonelajes de los barcos de pasajeros que aparecen en los folletos de publicidad normalmente se indican en tonelaje bruto. Si decimos que el *Extravaganza* tiene 50.000 toneladas, quiere decir que tiene 50.000 toneladas de arqueo bruto.

Los buques de carga, barcos de carga a granel, petroleros y barcos similares normalmente se citan indicándose las toneladas de peso muerto máximo (dwt, *deadweight*). El peso muerto es el peso en toneladas que puede transportar un barco cuando está cargado hasta el máximo calado autorizado. La carga máxima no sólo se refiere a la carga sino también a los pertrechos como las provisiones, el combustible y el agua potable. Lo que pesa un barco completamente vacío se denomina buque en rosca y, por lo tanto, buque en rosca + carga máxima = desplazamiento a plena carga.

La medición de toneladas del Támesis (TM), Thames Measurement o Thames Tonnage es:

$$TM = \frac{(L - B) \times B \times \frac{1}{2} B}{94}$$

donde L = eslora (*length*) y B = manga (*beam*), o de una manera más sencilla:

$$TM = \frac{(L - B) \times B^2}{188}$$

Hasta la década de 1850 ésta era la medición en toneladas de los buques de carga y también la medición para las regatas de yates. De esta forma, y con algunas pequeñas variaciones, se continuó durante muchos años después de que los barcos mercantes adoptaran una medida más sensible. De hecho, a menudo se utilizaba a la hora de describir los yates, hasta la Segunda Guerra Mundial, aunque entonces no como medición de regatas.

Sus inconvenientes están claros. La manga se penalizaba enérgicamente mientras que el puntal del casco y la superficie vélica se ignoraban. Como consecuencia, los yates de regatas se construían con cascos ridículamente estrechos y, para compensar la inevitable falta de estabilidad y la capacidad para llevar velas, con un gran calado y enormes y pesadas quillas lastradas. Éstos eran los famosos yates británicos «plank-on edge»\* descritos por el diseñador escocés G. L. Watson como que se aproximaban a la definición de Euclides de línea que tiene longitud pero no anchura. Un agricultor de Essex, E. H. Benthall, diseñó y construyó un yate de 110 pies (33,5 m) de gran éxito, el *Jullanar*, con una relación eslora/manga de 6:1 (hoy en día esta cifra sería más bien 4:1) y posteriormente construyó un barco de 10 toneladas (TM) denominado *Evolution*, que aparece en la Fig. 11. Con una eslora en la flotación de 50,75 pies (15,2 m), su manga era de 6,5 pies (2 m), y la relación eslora/manga de 7:8. Aunque no fue un éxito, pues tuvo problemas de estabilidad, indica lo lejos que la gente estaba dispuesta a llegar para encajar en las reglas de medición (*rating*) de la época.

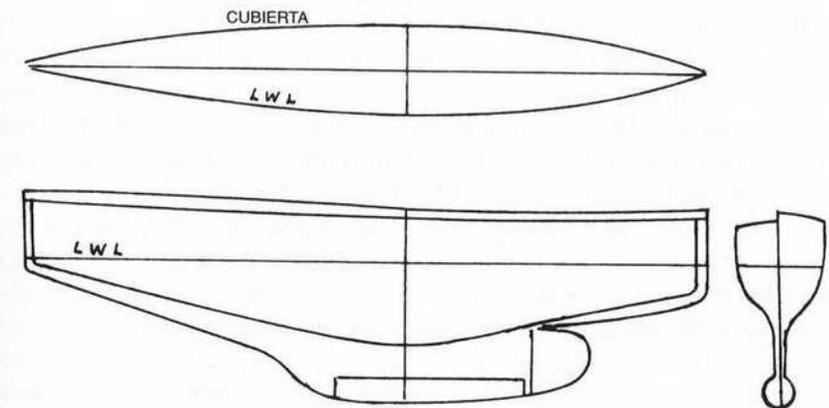


Fig. 11. *Formas del Evolution, un ejemplo extremo del tipo de yate británico «plank-on edge» de finales del siglo XIX. Concretamente fue construido en 1880.*

### Forma del casco

Hasta ahora nos hemos centrado en la versión de pantoque vivo del velero de paseo, pero existen dos variantes: el barco de casco plano o doris que podemos ver en la Fig. 12 y la versión de pantoque redondo de la Fig. 13 que aparece por primera vez en la Fig. 2.

\* Expresión inglesa usada para designar a los barcos de manga muy estrecha (*N. de la T.*).

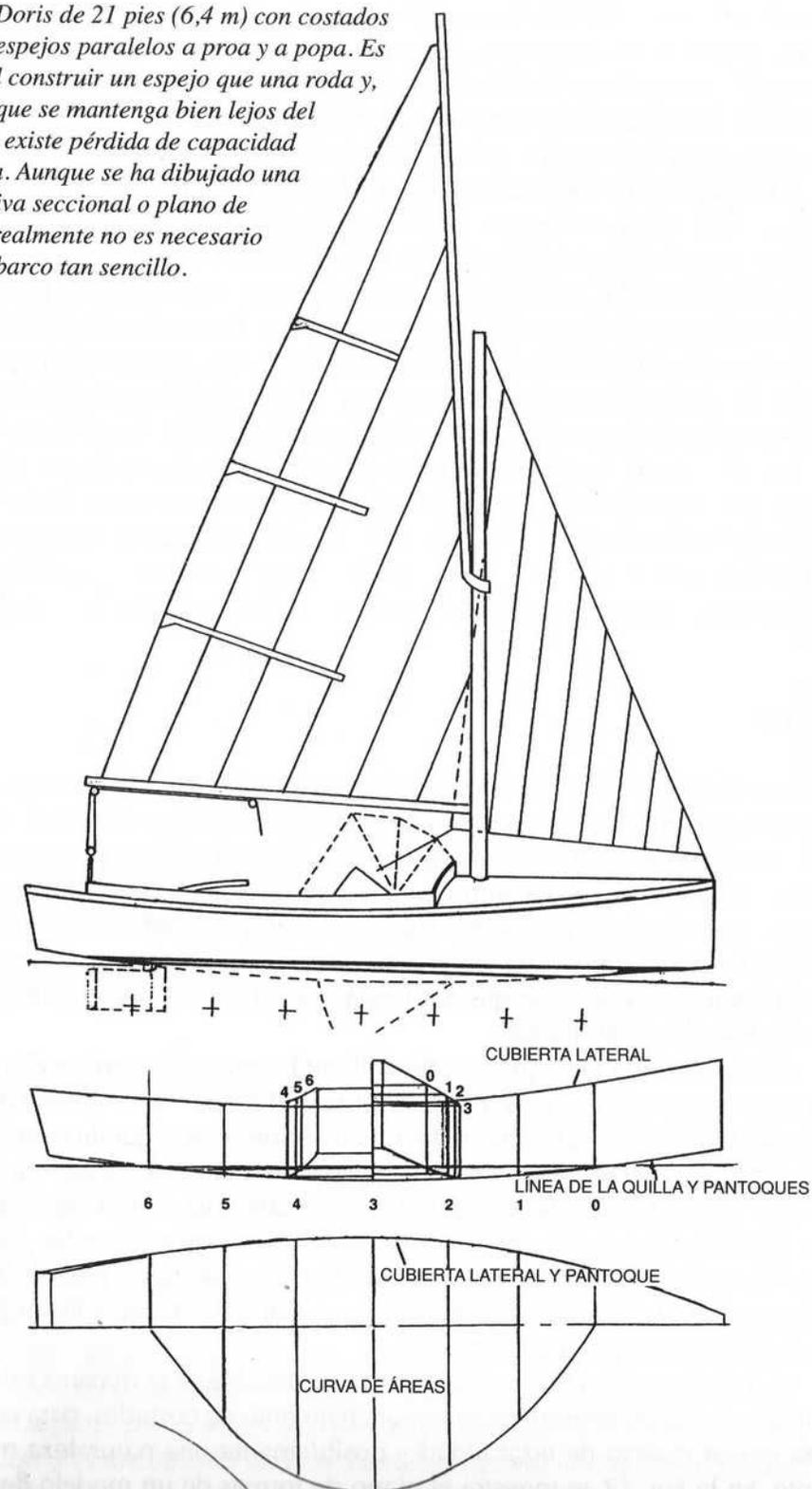
El agua empujada hacia un lado por un barco mientras navega es lanzada hacia abajo y hacia un lado. Como consecuencia, la dirección media de su flujo es diagonal y de proa a popa. El agua, obstaculizada en su libre fluir por ángulos (como el pantoque), forma remolinos y se hace turbulenta, absorbiendo potencia al hacerlo. De este modo, cuanto más suaves sean las curvas por las que tiene que fluir, más feliz será; en consecuencia, un casco con carena redonda será ligeramente más fácil de gobernar por el agua que un rival de pantoque vivo, especialmente en las velocidades a las que las embarcaciones de vela y los barcos de motor de poca velocidad se desplazan normalmente.

Al aumentar los nudos de velocidad, el casco de pantoque vivo, o de carena en V, comenzará a conseguir lo que se merece. Entonces, el agua, al pasar a lo largo de la carena y deslizarse sobre una superficie ligeramente angulosa que se mete en su flujo (casi todos los barcos calan por la popa al aumentar la velocidad), tendrá un componente de sustentación. Es decir, intentará levantar la popa reduciendo la superficie del casco en el agua, y de este modo exigirá más potencia para su gobierno. El agua levantará una superficie plana con más facilidad que una curva, alrededor de la cual el agua tenderá a fluir más que a empujarla. De este modo, una forma de pantoque vivo es excelente para alcanzar velocidades de planeo elevadas en los barcos de vela, y la mayoría de las veces también en los barcos de motor. Es más marinera y más fácil de construir que la carena redonda e injustamente criticada por aquellos que están convencidos de las razones de los constructores que emplean plástico reforzado con fibra de vidrio (PRF), pues la fibra de vidrio necesita amplias curvas empotradas para mejorar su blandura característica.

Por supuesto, existen más formas de cascos diferentes del pantoque vivo o el pantoque redondo que aspiran a que un flujo de agua uniforme rodee el casco utilizando líneas suaves. Por ejemplo, está el tema del modo de repartir el desplazamiento a lo largo de la eslora. En otras palabras, ¿debe concentrarse gran parte del volumen sumergido alrededor del centro del buque, originando extremos finos con poco volumen? o ¿serán preferibles las secciones amplias en la popa y la proa? La respuesta es que todo depende principalmente de la velocidad prevista del barco. En el Capítulo 5 se trata el tema con más detalle, pero, mientras tanto, si los planos de formas que se muestran en este libro se utilizan como ejemplos, todo irá bien. Debe elegir las formas de la embarcación que sean adecuadas para desarrollar tareas similares a la que usted está esbozando.

La potencia, ya esté proporcionada por las velas o por un motor, se agota cuando el barco forma olas al avanzar a través del agua, y al vencer la fricción entre el casco y el agua. Los métodos para reducir la primera pérdida se mencionan en el Capítulo 5, que trata sobre la distribución del desplazamiento. Las pérdidas debidas a la fricción se reducen disminuyendo la superficie del casco en contacto con el agua. De este modo, una quilla de aleta originará menos resistencia de fricción que una quilla corrida, y una orza,

Fig. 12. Doris de 21 pies (6,4 m) con costados rectos y espejos paralelos a proa y a popa. Es más fácil construir un espejo que una roda y, siempre que se mantenga bien lejos del agua, no existe pérdida de capacidad marinera. Aunque se ha dibujado una perspectiva seccional o plano de formas, realmente no es necesario para un barco tan sencillo.



cuando esté levantada, originará menos resistencia que las dos anteriores. De este modo, si la velocidad es lo principal, por ejemplo, en un barco de vela, una quilla de aleta probablemente será la opción adecuada, aunque posiblemente la embarcación será menos estable al timón que un barco de quilla larga, y por lo tanto no será un yate de crucero tan bueno.

La orza, aunque resulta magnífica a la hora de reducir la superficie mojada, es difícil de combinar con el lastre exterior eficaz (y por lo tanto, situado muy abajo). Ésta puede desplazarse a través de la ranura situada dentro de una quilla lastrada poco profunda, pero la presencia de la quilla hace que se pierdan algunas de las ventajas potenciales que tienen las quillas con poca superficie mojada. Puede incorporarse un bulbo de plomo o de hierro en el fondo de la orza, de modo que actúe muy abajo cuando se baja y repose en un hueco formado en el casco en la posición «levantada». En ese caso, la orza suele actuar deslizándose verticalmente hacia abajo dentro del pozo, como una orza de sable, y no girando. Éste es un sistema eficaz, normalmente denominado quilla «de levantar», pero las maniobras para subirla suelen ser bastante trabajosas y complicadas, y la pieza completa puede que no sea estructuralmente tan buena como una verdadera quilla lastrada integral.

## Doris

Aunque se ven en raras ocasiones, los barcos de carena plana son relativamente populares en muchas partes del mundo, especialmente en América, donde se utilizan como embarcaciones pequeñas para el comercio y también como botes auxiliares y yates. Siempre que hayan sido bien diseñados, pueden tener unas prestaciones excelentes y puede ser muy agradable navegar en ellos. Y debido a que son fáciles de construir, en particular los modelos con los costados rectos, conviene que los tengamos en cuenta como primer diseño y ejercicio de construcción.

Al tener forma de cajón, un doris flotará a más altura sobre el agua que los cascos con otras formas; por este motivo, debe ser razonablemente estrecho para garantizar que una parte adecuada del casco queda sumergida. Si no es así, el barco tenderá a rozar la superficie del agua y será difícil de gobernar. Las orzas y timones sobredimensionados son una característica de casi todos los doris, pero incluso éstos no pueden suplir por entero la falta de superficie de casco sumergida. Por ello, la manga debe ser estrecha para garantizar una relación eslora/manga no superior a 3,5:1. En la Fig. 4 se muestran algunas mangas recomendadas.

Los doris pueden tener costados rectos, para lograr la máxima estabilidad inicial y volumen interno, o con ensanchamiento de costados, para conseguir una mayor reserva de estabilidad y posiblemente una naturaleza más tolerante. En la Fig. 12 se muestra el plano de formas de un modelo de 21 pies

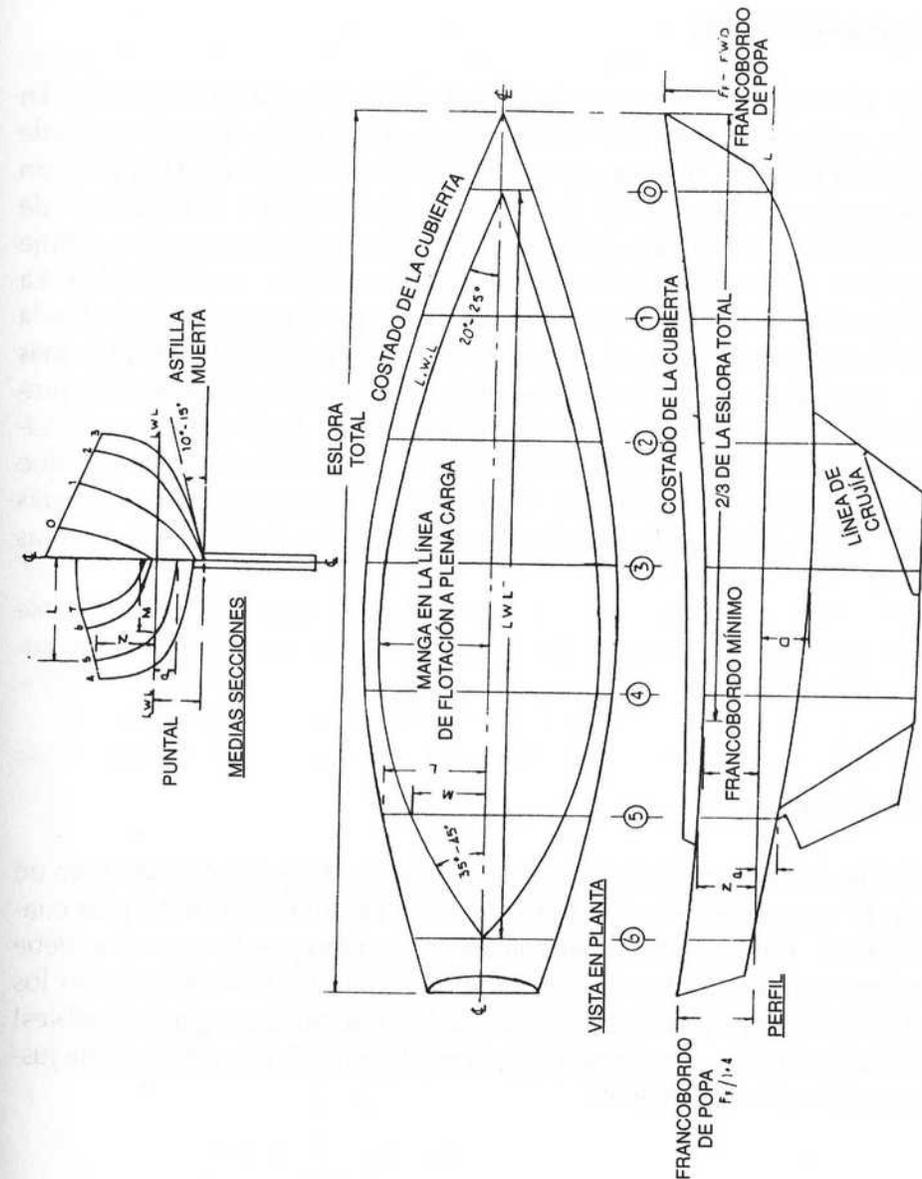


Fig. 13. Plano de formas básico de un barco de pantoque redondo.

(6,6 m) de costados rectos. Puede que no sea fácil dibujarlo haciendo coincidir las líneas de la cubierta y las del pantoque (excepto, posiblemente, en la proa y la popa) en perspectiva; así como las líneas de la quilla y del pantoque coincidiendo de perfil.

Los barcos de carena plana deben ser gobernados en alta mar con precaución y experiencia, especialmente los modelos sin lastre, y, a este respecto, debemos mencionar que una quilla lastrada exterior es fácil de construir. Sin embargo, el plano vélico siempre será más modesto y el barco deberá diseñarse con un francobordo enormemente comedido con el fin de reducir la obra muerta.

## Pantoques redondos

En la Fig. 13 se muestra el velero de 20 pies (6 m) de pantoque redondo. En primer lugar, dibuje la línea de la cubierta/arrufo y la quilla/línea de crujía de perfil, utilizando la medida de calado del casco (D) recomendada para un barco de quilla de aleta de 5,2 pies (1,5 m) de manga en la flotación –de poco más de 1 pie (300 mm)– como el de la Fig. 5. A continuación, dibuje la línea de máxima carga (lwl) y la línea de la cubierta en perspectiva. La manga máxima en la flotación normalmente se produce un poco hacia la popa de la sección maestra, tal como se indica. La curva debe ser algo más abierta a popa que a proa. Después dibuje las secciones, comenzando preferentemente por las que pasan por las ordenadas, 1, 3 y 5. Una vez esté satisfecho con el resultado, dibuje las restantes. Las medidas L, M, N y P, que figuran en la media sección de la ordenada 5, deben corresponder en todas las perspectivas con las reglas similares que se aplican al resto de las medias secciones.

Si las secciones tienen forma de barril el barco tenderá a balancearse como uno de ellos, por lo que debe dibujarlas rectas en una parte de su superficie sumergida.

## Quillas de aleta

Según la Fig. 14, al parecer, la superficie adecuada de quilla de aleta para un barco de 17 pies de eslora en la flotación sería de alrededor de 17 pies cuadrados (1,6 m<sup>2</sup>). Éste es un tema bastante extenso, como puede verse, y no debe confundirse con las quillas de superficie mínima que se utilizaban en los Flying Fifteens, por ejemplo. ¡Lo que nos indica que no hay reglas inflexibles! Dibuje lo que le guste, y mantenga el extremo inferior de proa de la quilla justo a popa del centro del mástil.

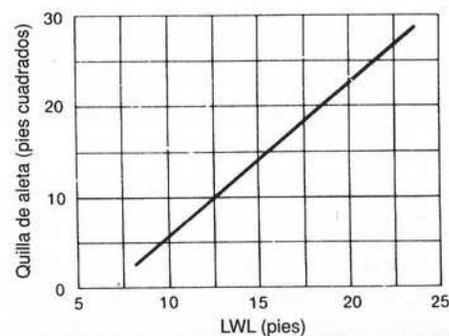


Fig. 14. Área sugerida de la quilla de aleta en función de la eslora de flotación.

Sea cual sea la forma y la superficie de una quilla de aleta, su centro de gravedad longitudinal (l<sub>cg</sub>) tendrá que situarse de manera que el l<sub>cg</sub> de todo el barco se encuentre alineado con el centro de carena l<sub>cb</sub>. Si tomamos como ejemplo el barco de 20 pies de pantoque redondo, una rápida estimación del desplazamiento a partir de las medias secciones sugiere que era de 1.500 lb (675 kg) y que su centro de carena l<sub>cb</sub> estaba situado 0,22 pies a popa de la sección maestra. Previamente, se había calculado el peso de la versión de pantoque vivo con orza en 873 lb (393 kg). En una versión de pantoque redondo con quilla de aleta, por ejemplo, probablemente los escantillones se aumentarían algo. Por ejemplo, tendría que llevar varengas estructurales más pesadas para aguantar los pernos de la quilla y el grosor del casco podría muy bien llegar a los 12 mm. De cualquier forma, suponga que ese peso, sin aleta, aumenta en 150 lb, de 873 a 1.023 lb (460 kg), pero que el l<sub>cg</sub> se mantiene en su lugar original, 0,6 pies a popa de la sección maestra.

Los «juegos malabares» que vamos a hacer serán más fáciles si se miden las distancias a partir de la ordenada 0. De esta forma la situación del centro de gravedad longitudinal (l<sub>cg</sub>) en el casco 0,6 pies a popa de la sección maestra es 3 × 2 pies y 10 pulgadas (el espacio entre ordenadas) más 0,6 pies a popa de la ordenada 0. Es decir 8,5 + 0,6 = 9,1 pies.

El centro de carena (l<sub>cb</sub>) del barco de quilla de aleta está 0,22 pies a popa de la sección maestra, u 8,72 pies a popa de la ordenada 0. El peso total ne-

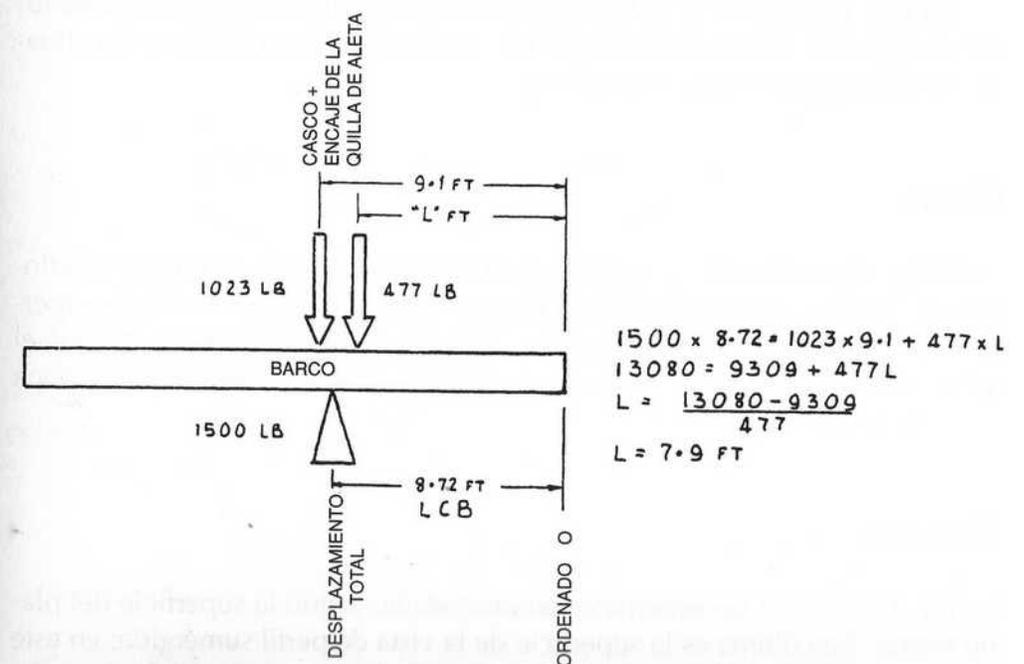


Fig. 15. Modo de calcular el emplazamiento de la quilla de aleta y el lastre.

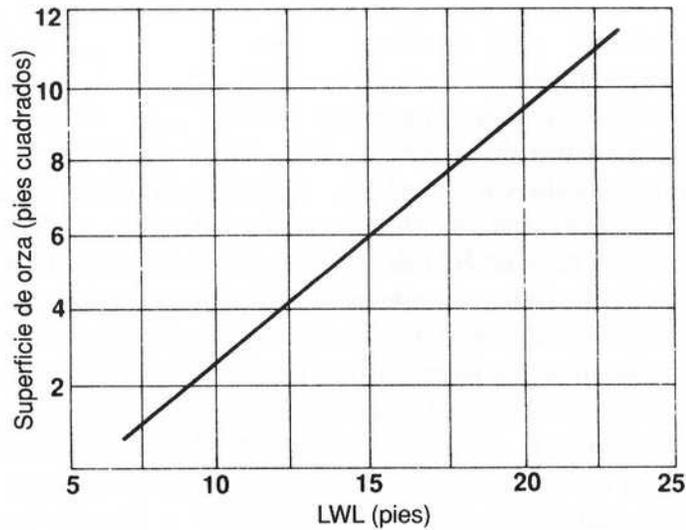


Fig. 16. Superficie de la orza utilizando como guía la eslora en la flotación.

cesario es de unas 1.500 libras (675 kg), de modo que si el barco pesa 1.023 libras, la aleta, incluyendo el lastre, deberá pesar  $1.500 - 1.023 = 477$  libras (214 kg) (coeficiente de lastre, 32 por ciento).

La Fig. 15 muestra el cálculo para hallar el centro de gravedad longitudinal (lcg) de la quilla de aleta, que da como resultado que debe estar situado 7,9 pies a popa de la ordenada 0.

### Orzas

En la Fig. 16 se indican las superficies recomendadas según la eslora en la flotación. En este caso la eslora de flotación es de 17 pies, por lo que la superficie de la plancha sería de 7,3 pies cuadrados ( $0,68 \text{ m}^2$ ). La parte inferior, el extremo delantero de la orza cuando está bajada, debe estar ligeramente a popa del centro del mástil.

### Timones

La Fig. 17 muestra las superficies recomendadas según la superficie del plano lateral. Esta última es la superficie de la vista de perfil sumergida; en este caso, alrededor de 29 pies cuadrados ( $2,7 \text{ m}^2$ ). La superficie del timón sería, por lo tanto, de 3,2 pies cuadrados ( $0,3 \text{ m}^2$ ).

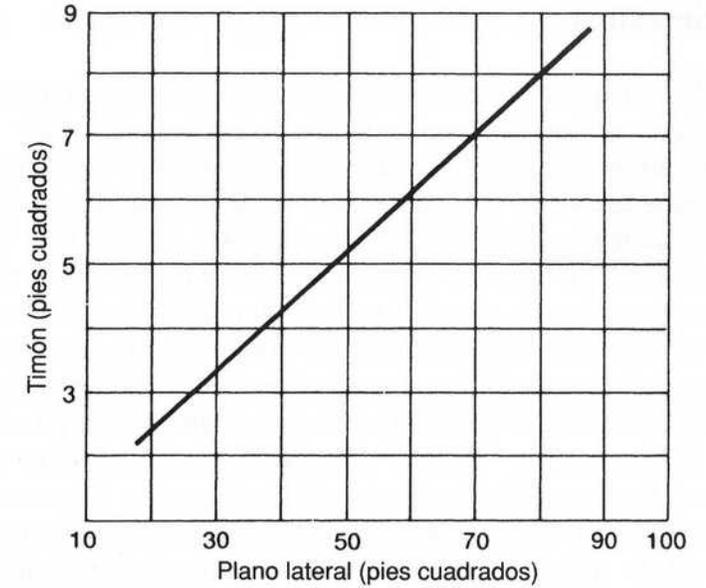


Fig. 17. Superficie del timón según la superficie del plano lateral. Esta última es la superficie del perfil sumergido del buque.

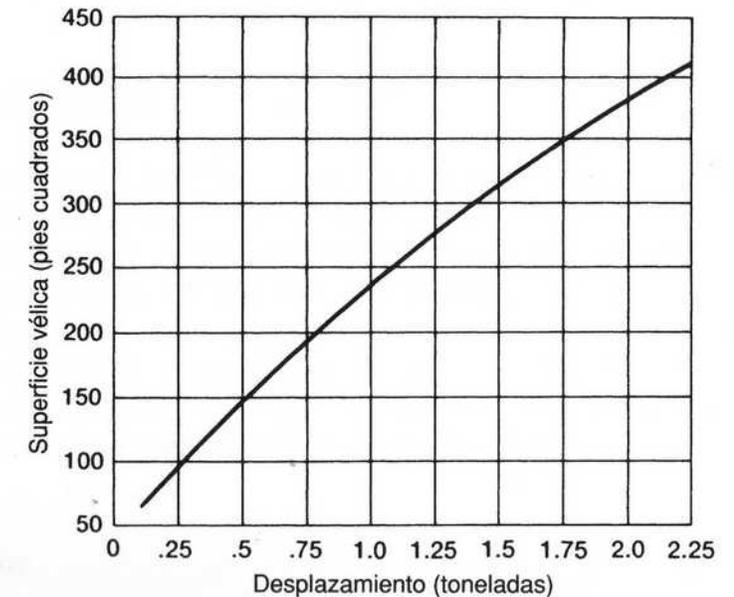


Fig. 18. Superficie vélica según las toneladas de desplazamiento.

## Superficie vélica

En la Fig. 18 se explican estos cálculos. Las superficies vélicas dependen del desplazamiento en toneladas elevado a la potencia de  $2/3$ . Esto significa que primero elevamos al cuadrado la cifra del desplazamiento en toneladas y después hallamos la raíz cúbica de dicha cifra. Si el desplazamiento del barco de quilla de aleta es 1.500 libras, es decir  $1.500 : 2.240 = 0,67$  toneladas. El cuadrado de 0,67 y la respuesta sería 0,45; la raíz cúbica de esta cifra es 0,77 y de este modo la superficie vélica sería de alrededor de 180 pies cuadrados. Para la versión de orza de 873 libras (0,39 toneladas), la superficie vélica deseable, sería, al parecer, 150 pies cuadrados aproximadamente.

En lo que respecta a la distribución de la superficie, en los balandros la mayor normalmente tiene el doble de superficie que el foque, mientras que en los cúters las superficies conjuntas de las dos velas de proa suelen constituir el 70 por ciento de la superficie de la mayor. De este modo, en una superficie total de 180 pies cuadrados, las velas de proa tendrían una superficie conjunta de 75 pies cuadrados y la mayor de 105 pies cuadrados.

Los croquis iniciales del barco llegan hasta aquí. Se han comprobado las estimaciones y todo está ya listo para la tarea de dibujar los planos con precisión. Para ello necesitaremos más equipo del utilizado hasta ahora; en el siguiente capítulo encontrará recomendaciones al respecto. Le mostraremos los planos de formas adecuados para el velero de paseo de pantoque vivo y de pantoque redondo, con varias versiones de quilla encastrada.

## 3. Modo de realizar los planos

---

Hasta ahora el barco soñado ya ha sido esbozado con cierto detalle, pero únicamente a mano. Aunque estos dibujos constituirán la base del diseño, no son suficientes para presentarlos a un constructor de barcos, a menos que resultara ser competente, imaginativo y valiente, y, posiblemente, le faltara trabajo. Convertir estos esbozos en planos útiles requerirá bastante más equipo. Pero imaginamos que el lector diligente querrá seguir adelante, así que se lo indicamos aquí.

### Tablero de dibujo

Aunque sería posible realizar los dibujos en láminas de papel extendidas sobre la mesa del comedor, resultaría un trabajo fastidioso. Para que el trabajo sea soportable necesitamos un tablero de dibujo adecuado con un sistema de reglas paralelas, o algo similar. Estos objetos pueden llevar soportes para poderlos colocar de forma plana sobre una mesa. Rectos, los tableros y los soportes, no son muy útiles en el trabajo de diseño de embarcaciones. El tamaño mínimo útil de un tablero es A1 (594 x 841 mm) y se puede pegar el papel de dibujo con cinta enmascaradora o cinta de dibujo.

### Junquillos

Para dibujar curvas largas, se utilizan listones de plástico flexible, llamados junquillos. Éstos tienen una longitud de alrededor de 4 pies (1,2 m) y

pueden tener los cantos paralelos o rebajados. Estos últimos resultan muy útiles, pues permiten dibujar una curva más estrecha con el borde más fino que con el junquillo normal de bordes paralelos. De manera que, si no tenemos problemas de dinero, lo ideal es disponer de uno de cada clase. También podemos fabricar los listones en casa con Perspex. Cogemos una lámina de Perspex de 2 mm, y cortamos una tira bien acabada de 1/4 de pulgada (6 mm) de ancho. Los junquillos pueden utilizarse de forma plana o de canto.

### Pesas

Para sujetar los listones en el lugar adecuado se utilizan pesas de plomo (Fig. 19). Éstas pesan alrededor de 4 libras (1,8 kg) y con seis tenemos suficientes. La base de contrachapado entallada sujeta el junquillo hacia abajo. Las pesas pueden comprarse ya hechas o bien podemos fabricarlas en casa si se nos dan bien los trabajos de fundición. Debemos pintar las pesas fabricadas en casa, pues de otro modo nos ensuciaremos los dedos.

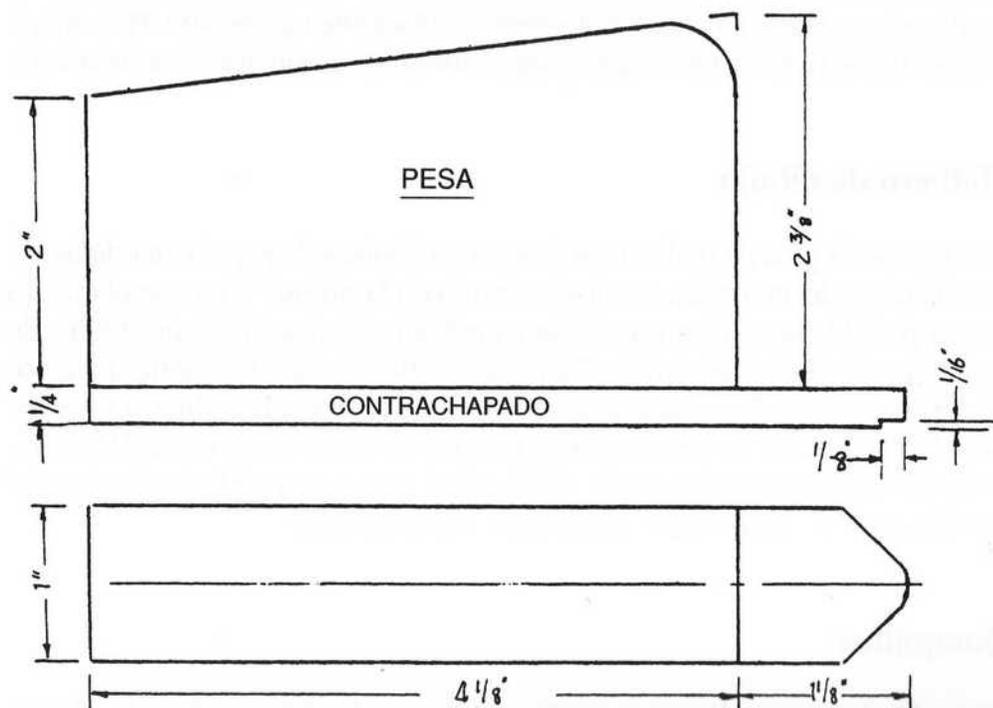


Fig. 19. Pesa típica de plomo utilizada con los junquillos.

### Plantillas de curvas

En algunos lugares, como en las secciones de una embarcación de carena redonda (y debajo del pantoque, en el caso de barcos de pantoque vivo), en la parte de proa de las longitudinales, y en la eslora de popa de algunas líneas de agua, la curva puede ser demasiado cerrada para el junquillo. En esas zonas se utilizan lo que se denominan plantillas de curvas. Son de plástico transparente y tienen diferentes formas, desde curvas suaves a otras muy pronunciadas. Desgraciadamente, suelen venderse en cajas de 20 o 40, y la mayoría de ellas no podremos utilizarlas en el diseño de barcos. Si es posible, compre dos plantillas de curvas pequeñas muy redondeadas por uno de los extremos; un «cuerno de carnero» grande (su nombre ya explica la forma), y un par de plantillas de curvas largas que comiencen suavemente pero que terminen en una curva cerrada (Fig. 20).

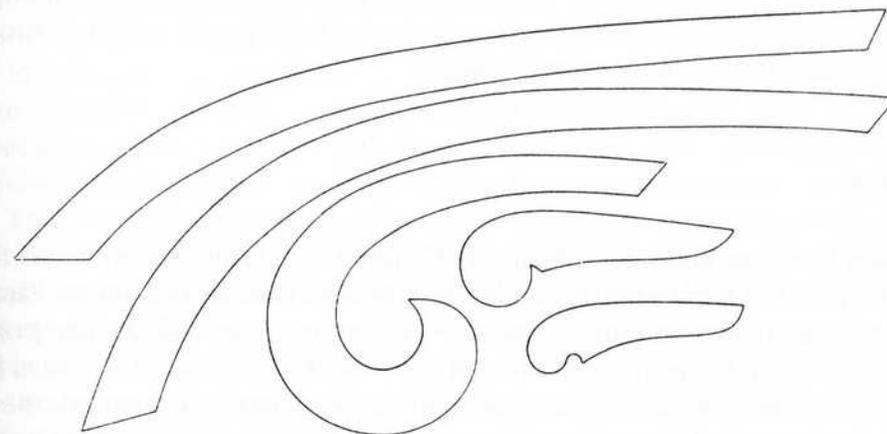


Fig. 20. Cinco plantillas de curvas útiles en construcción de barcos. La más larga mide alrededor de 2 pies (0,6 m).

### Planímetro

Se emplea para medir superficies y se utiliza principalmente para calcular el desplazamiento. Existen planímetros con escalas variables o fijas. Estos últimos son menos caros, pero tampoco son baratos. Los de escala fija pueden convertir el resultado a cualquier otra escala. Si un planímetro mide sólo en una escala de 1 pulgada y el dibujo se ha hecho en una escala de 3/4 de pulgada, debe multiplicar el resultado hallado en la escala de 1 pulgada por el

cuadrado de la escala real invertida. Es decir, en el caso de una escala de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, por  $4^2 / 3^2$  o  $16 / 9$ . Si la escala utilizada fuera de  $\frac{1}{2}$  pulgada, entonces el multiplicador sería de  $4/1$ , y así sucesivamente.

En caso de duda, dibuje una forma de superficie conocida (un cuadrado o un círculo) en la escala en la que esté trabajando; coja el planímetro y averigüe cuál sería el multiplicador para proporcionar el resultado adecuado. Mida la superficie dos o tres veces para comprobarlo.

Según hemos indicado, los planímetros son caros (aunque es posible comprarlos de segunda mano) y para la primera y quizás única vez el diseñador puede que prefiera la solución infinitamente más barata de utilizar papel cuadrículado transparente. Éste existe en una gran variedad de escalas, y en medidas anglosajonas y métricas. La idea es colocar el papel sobre la superficie que queremos medir, y después contar las cuadrículas. Antes de empezar a dibujar, debe asegurarse de que este papel transparente está en la escala que necesita. En caso negativo, ¡cambie la escala! Es una tarea fastidiosa, pero lo suficientemente precisa para fines prácticos.

Evidentemente, podemos dividir las superficies en rectángulos y triángulos, y después hacer el cálculo, pero la técnica del papel cuadrículado es más rápida y probablemente más exacta.

## Varios

Aunque la mayor parte del trabajo de dibujo lo realizaremos con minas tipo HB, las más duras H también pueden resultarnos útiles en ocasiones. Para la rejilla de un plano de formas (del que hablaremos a su debido tiempo) es preferible trazar líneas finas a tinta con un rotulador o tiralíneas, como el Rotring 0,25. Los dibujos a lápiz no se reproducen demasiado bien por medio del proceso normal de copia química y deben pasarse a tinta, o bien trazarse con tinta. Para esta tarea, un rotulador más grueso, como el Rotring 0,4, complementará el de 0,25.

A veces es necesario dibujar círculos o arcos de círculo; en ese caso es necesario disponer de un par de bigoterías para lápiz y tinta, y, además, compases de lápiz y de tinta.

Para borrar manchas de tinta y rayajos (con toda probabilidad habrá algunos) puede utilizar una cuchilla afilada, pero tendrá que repasar la zona rascada con una goma para suavizar la superficie antes de volver a aplicar tinta.

Ahora ya tenemos todo el equipo y es el momento de empezar a dibujar otra vez, comenzando con un plano de formas adecuado. Como referencia utilizaremos el croquis realizado a mano. El nuevo plano de formas debe dibujarse a escala, de modo que una vez realizado tenga una longitud de 30 pulgadas (0,76 m). Si es más grande, tendremos dificultades para ver todo

desde la proa a la popa de una ojeada, y, de todas formas, puede que no quepa en el tablero de dibujo. Y si es mucho más pequeño será difícil lograr la precisión suficiente.

Antes de dedicarnos a los detalles, hay un asunto que debemos tratar.

## Línea de alefriz (o rebajo)

Sobre el plano de formas provisional dibujado hasta ahora todo coincide en un punto situado en la línea de crujía: la cubierta, la roda, la quilla y todo lo demás. Pero cuando usted considera las disposiciones de construcción reales, esto no siempre es cierto. En un barco de acero o de aleación, los costados y la carena en la crujía parecen estar conectados a través de una traca roda/quilla. Puesto que, en un barco de nuestro tamaño, dicha traca probablemente sería sólo de  $\frac{3}{8}$  pulgadas (9 mm) de grosor, y la mitad de su anchura a cada lado de la crujía sería sólo de  $\frac{3}{16}$  pulgadas (4,5 mm), probablemente sea exacto suponer que todos los extremos están en la línea de crujía. Pero en un barco de PRF (plástico reforzado con fibra de vidrio), por ejemplo, hay que dejar espacio para que los laminadores coloquen la fibra de vidrio y la resina en las caras interiores de la roda y la quilla. No podrían hacer esto de modo adecuado, especialmente en la roda, si todo fuera a dar a un punto. Por esta razón, los extremos de proa y de la quilla tienen que tener un radio en la crujía.

En el caso de una embarcación de construcción de madera, la tablazón tiene que ir clavada a la madera maciza en la roda y en la quilla, y debe ser lo suficientemente sólida para recibir la clavazón y dejar un solapo adecuado entre ésta y la roda o la quilla. Este solapo se conoce como superficie de contacto, y su anchura será, como mínimo, el doble del grosor de la tablazón. En la construcción de contrachapado, la superficie de contacto debe ser incluso superior.

El diseñador esboza la roda y los extremos de la tablazón del pie de roda para fijar una línea de alefriz con la anchura adecuada (Fig. 21). Normalmente, los planos de formas se dibujan hasta la parte exterior de la tablazón, y por eso la anchura de la línea de alefriz dicta la semimanga de todos los extremos en la línea de crujía.

En lo que respecta a las quillas, también rigen otras consideraciones. Este velero de paseo lleva una quilla de aleta o una orza con su pozo. La vagra de quilla debe ser lo bastante ancha como para recibirlas: esto dicta la anchura de la línea de alefriz en esa zona (véase de nuevo la Fig. 21). En este barco de 20 pies la anchura del alefriz puede ser de 5 pulgadas (125 mm) en la zona de la quilla o de la orza, disminuyendo a  $2\frac{1}{2}$  pulgadas (65 mm) en la roda y en la popa. Las semimangas que se ven en el plano de formas serían de la mitad de esas cifras, por supuesto. La línea de alefriz debe tener el perfil recto en la zona donde la aleta va a estar sujeta con pernos.

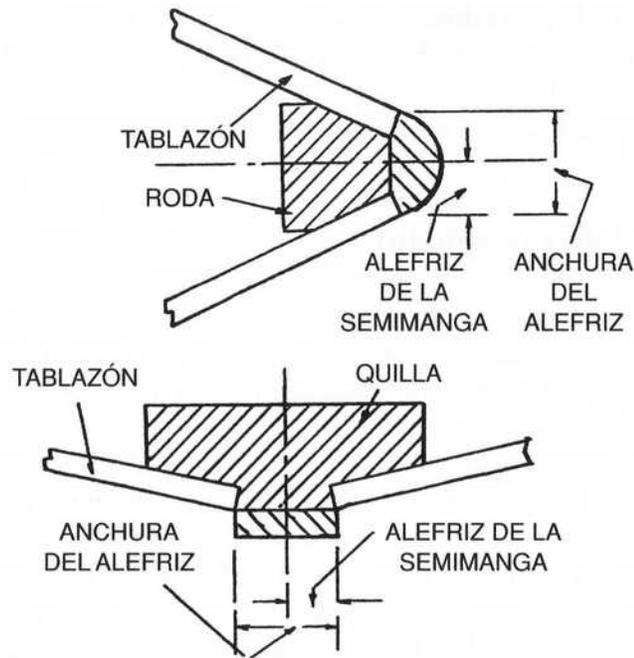


Fig. 21. Línea de alefriz y su anchura, y semimanga en la quilla y en la roda.

En los barcos de acero y en los de aleación, normalmente se suele utilizar una caja de quilla de aleta soldada al casco una vez terminado, por lo que las anchuras de la línea de alefriz en la quilla no se aplican aquí. En los barcos de PRF (plástico reforzado con fibra de vidrio) la quilla de aleta puede muy bien estar encastrada dentro y ser integral con el casco para proporcionar una forma bastante similar a la que se muestra en el plano de formas del pantoque redondo que aparece a continuación. Por el contrario, la aleta podría ser una plancha pesada de metal sujeta al casco por medio de pernos.

### Popa de canoa, versión de pantoque redondo

Sólo para mostrar otra posibilidad, en la Fig. 22 aparece una variante con popa de canoa o noruega del barco de media cubierta, con la quilla de aleta unida al casco. Para que los cambios sean aún mayores, se supone que la construcción es de madera tradicional, no de contrachapado, con cuadernas tratadas con vapor y tablazón a tope de caoba. Este tipo de embarcaciones suele tener, por lo menos, el doble de peso que las de contrachapado, con consecuencias obvias en el calado del casco por debajo de la línea de flotación en la sección maestra, D.

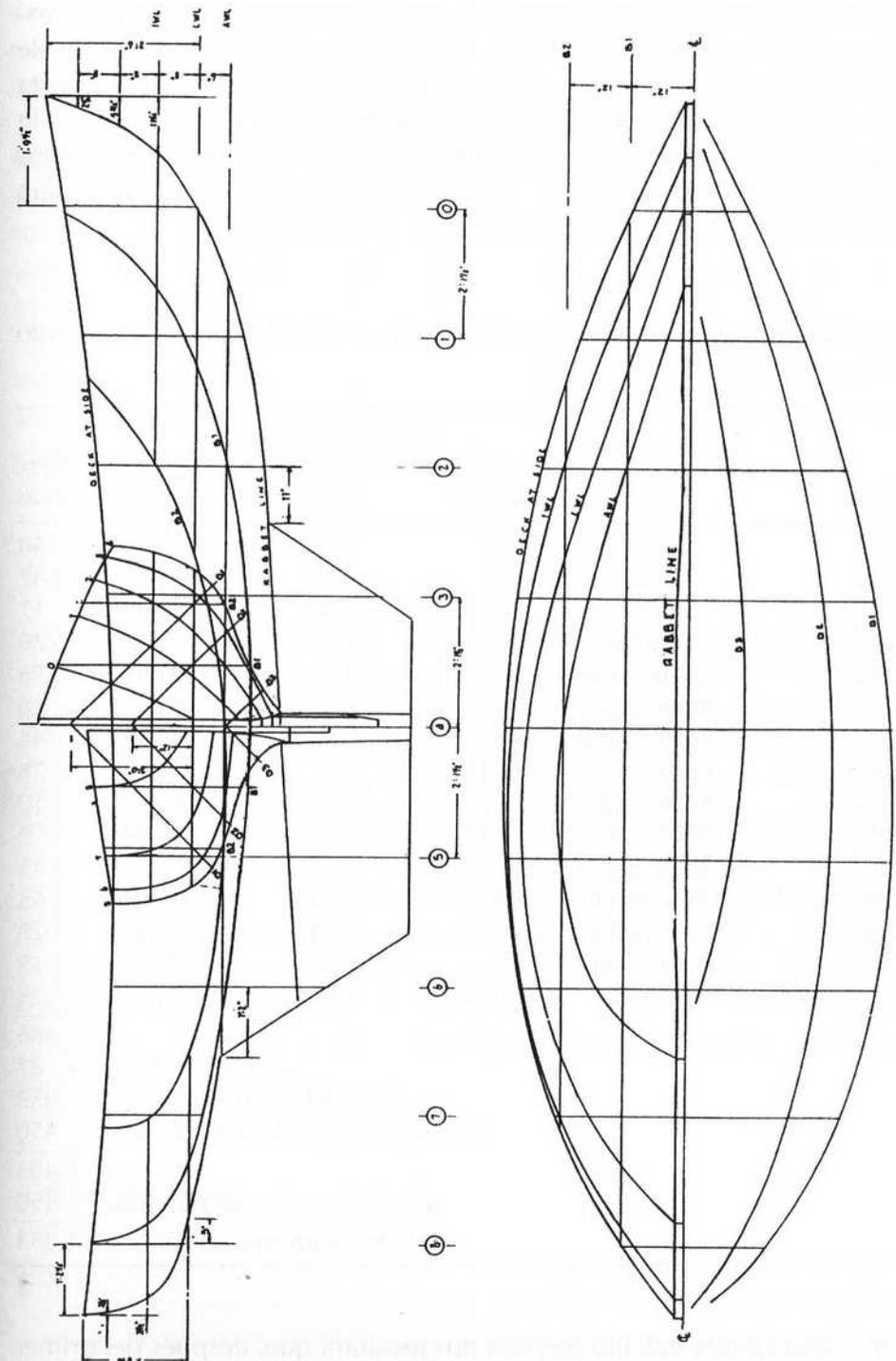


Fig. 22. Versión de popa de canoa y de pantoque redondo del velero de paseo.

Por lo tanto, sería aconsejable intentar hacer otro cálculo de los pesos; la Tabla 8 nos indica el modo de hacerlo. El resultado sería que el peso del casco ha aumentado de 443 lb (200 kg), en el caso del modelo con orza, de contrachapado, Tabla 4, a una cantidad enorme 953 libras (440 kg) en esta versión, y el desplazamiento total ha pasado de 785 lb (356 kg) a 1.853 lb (840 kg). El cálculo del peso debe ampliarse para incluir los centros y momentos de gravedad de la proa y la popa, al igual que se hizo en el Capítulo 2, para hallar la situación del centro de gravedad longitudinal (lcg).

**Tabla 8.** Cálculos sobre peso para un barco de 20 pies de pantoque redondo y construcción clásica de madera.

Pieza	Material	Escantillón pulgadas	Peso/pie cuadrado		Peso Libras
			o pies run libras	Longitud o superficie	
Casco	Caoba	5/8	1,66	150 pies <sup>2</sup>	250
Cubierta	Caoba	5/8	1,66	25 pies <sup>2</sup>	42
Timón	Caoba	3/4	1,95	9 pies <sup>2</sup>	17
Quilla de aleta	Caoba	5	13,3	17 pies <sup>2</sup>	226
Cuadernas	Roble inglés	1 1/4 x 1	0,4	140 pies	56
Roda	Roble inglés	3 x 3	2,8	10 pies	28
Quilla	Roble inglés	7 x 2 1/2	5,46	8 pies	44
Codaste	Roble inglés	3 x 3	2,8	10 pies	28
Varengas	Roble inglés	2 x 2	1,25	8 pies	10
Baos de la cubierta	Roble inglés	1 1/4 x 1 1/4	0,5	18 pies	9
Curvas	Roble inglés				45
Durmiente del bao	Pino de Or.	3 x 1 1/2	1,03	42 pies	43
Palmejar	Pino de Or.	2 1/2 x 1 1/2	0,95	33 pies	28
Mamparos	Contrachap.	1/2	1,5	10 pies <sup>2</sup>	15
Varengas angulares	Acero	30 x 30 x 3	1,0	25 pies	25
					866
				+ 10%	87
				Peso del casco en libras =	953
				+ herrajes y peso de la tripulación	450
					1.403
				+ quilla lastrada, por ejemplo,	450
				Desplazamiento en libras =	1.853

Un vistazo a este cálculo de peso nos mostrará que, después del primer total de 866 libras, se ha añadido un 10 por ciento. Esto es para la tablazón, la pintura y las cosas que nos habíamos olvidado: el tema de las piezas «curvas» ha quedado algo impreciso y la cifra de 45 libras es simplemente una apro-

ximación del total para las curvas de la roda y de la popa, la curva vertical y las curvas horizontales, un par de buzardas y demás. El plano de construcción todavía no está dibujado en esta fase, de manera que todo el trabajo se basa en conjeturas.

Volvamos al calado del casco por debajo del agua en la sección maestra. En el Capítulo 1, lo calculábamos ligeramente por encima de 1 pie (300 mm) en el caso de un barco de quilla de aleta de construcción moderna. Ahora, a la luz del último cálculo de pesos, deberíamos aumentar algo esa cifra, por ejemplo 1 pie y 4 pulgadas (400 mm), tomada desde la línea de máxima carga (lwl) hasta la línea de alefrez en el centro del barco. Teniendo en cuenta esa cifra, podemos «hincar los codos» y trabajar en un nuevo plano de formas mayor del previsto. Podemos modificar el primer plano de formas dibujado a mano del pantoque redondo, de manera que incluya la nueva cifra D, la popa de canoa y el cambio en las tracas de aparadura.

## Rejilla

La base de cualquier plano de formas es una rejilla exacta, que muestre las líneas de agua, las líneas longitudinales (en perspectiva de líneas rectas), las líneas de crujía, las ordenadas y la pendiente de las diagonales. Normalmente, esta rejilla se dibuja a tinta sobre papel especial para tiralíneas, que no se estira ni se contrae tanto como el papel de calco. Dependiendo del tamaño del tablero de dibujo, una escala adecuada para este barco de 20 pies podría ser 1 pulgada = 1 pie (1:12) o, con mayor precisión, 1 1/2 pulgadas = 1 pie (1:8). En una escala métrica, 1:10 sería un buen compromiso. En este caso bastarían nueve ordenadas, con las ordenadas 0 y 8 situadas en los extremos de la línea de máxima carga (lwl). Al dibujar la rejilla hay que ser muy exacto. Debe medir y volver a medir. Debe asegurarse de que las líneas son realmente paralelas o que forman ángulos rectos, según corresponda.

## Líneas de agua

Son cortes horizontales a través del casco, paralelos a la línea de máxima carga (lwl) en la que se contempla que el barco flote. Una línea de agua aparece como una línea recta en la vista de perfil y en la sección, y como una curva en el plano. Las semimangas a partir de la crujía deben concordar en las vistas transversal y en planta. Aquí se dibujan tres líneas de agua: lwl, Lwl y Awl.

## Longitudinales

Son cortes verticales a través del casco que van paralelos a la línea de crujía vertical. Aparecen como líneas rectas en la vista en planta y vista transversal y como curvas en el perfil. En la Fig. 22 están señaladas como B1 y B2. La altura de una longitudinal por encima o por debajo de la línea de máxima carga (lwl) debe ser igual en la vista de perfil y transversal, y el punto en el que una longitudinal corta una línea de agua debe estar en la misma línea vertical en las vistas de perfil y en planta. Esto se muestra en la Fig. 23.

## Diagonales

Al dibujar las secciones sobre el plano de un barco de pantoque redondo, podrá verse que algunas partes de su forma no están bien definidas por líneas de agua o por longitudinales. En este caso se utilizan las diagonales como ayuda adicional. Deben disponerse de manera que corten el máximo número de secciones en ángulos lo más próximo posibles al ángulo recto. Las que aparecen en las Figs. 22 y 23 se han colocado a 45 grados de la línea de crujía vertical, pero no hay nada especial respecto a dicho ángulo, simplemente quedaba bien ahí. Las diagonales no tienen que ser paralelas entre sí, aunque frecuentemente se dibujan así. Sus extremos en la proa y la popa se muestran en la Fig. 23, al igual que el modo en que se miden: hacia abajo siguiendo su inclinación desde la línea de crujía vertical. Dichas medidas se presentan generalmente en la vista en planta. Como siempre, asegúrese de que dibuja una buena y bonita curva que pase por los puntos. Defina la inclinación y la posición de las diagonales en la vista transversal sobre el plano de formas.

## Curva de la superficie

Como comprobación suplementaria en lo que respecta al aspecto del casco, puede dibujarse una curva de superficie. Las zonas sumergidas en las diferentes ordenadas, tal como se utilizaban en los cálculos de pesos, se trazan desde la línea de crujía en la escala que queramos (véase Fig. 12). Así, por ejemplo, una superficie de 3 pies cuadrados podría trazarse a 3 pulgadas de la crujía utilizando una escala de 1 pie cuadrado = 1 pulgada. Cuando hayamos hecho esto, trazaremos una curva que una todos los puntos.

Si no puede dibujar una curva uniforme, compruebe primero si hay errores en el trazado o en los cálculos de superficie iniciales. Si todo está co-

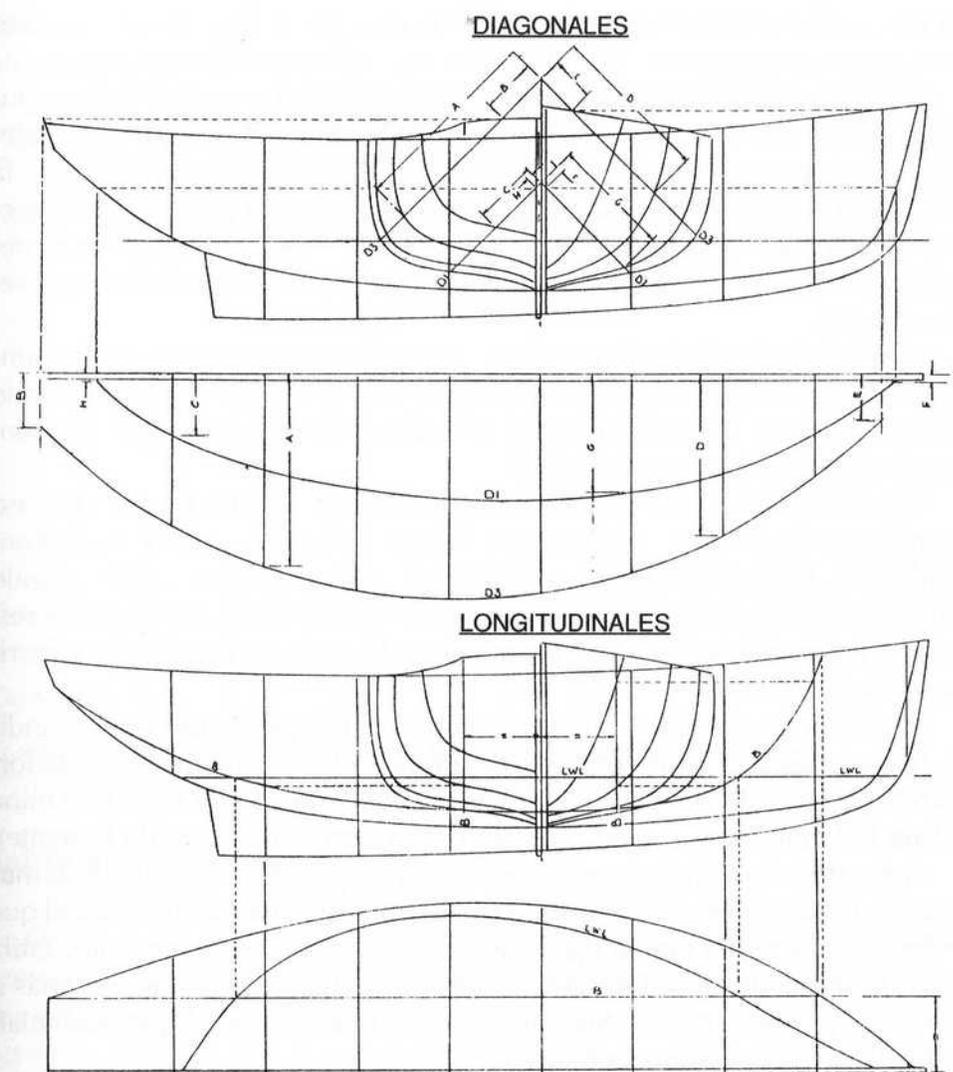


Fig. 23. Detalles sobre el trazado de las longitudinales y diagonales en un plano de formas.

rrcto en esas fases, puede que sea necesario volver a dibujar las formas en las cercanías del error, con el fin de obtener una curva adecuada.

## Trazado de las líneas

Una vez realizados manualmente los esbozos del plano de formas, servirán como guía en las fases iniciales. La cubierta y el alefriz, de perfil y en planta, y la línea de flotación a plena carga en planta, pueden trasladarse con lá-

piz HB desde el esbozo a este plano de mayor escala. Para esta operación necesitaremos un junquillo y posiblemente una o dos plantillas de curvas.

Después, dibuje a mano lo que se denominan formas en sección por ejemplo, en las ordenadas 1, 4 y 7 utilizando las líneas de la cubierta, el aleriz y la lwl como puntos de referencia. Ahora, dibuje la Diagonal 2 (D2) y la Longitudinal 1 (B1) con un junquillo o con una plantilla de curvas. Las secciones de planos en 1, 4 y 7 tendrán claves que indiquen el lugar donde deben trazarse las longitudinales y las diagonales para obtener el mejor provecho de éstas.

Si la longitudinal y la diagonal que acaba de dibujar encajan en los puntos, y al mismo tiempo aparece una bonita curva, es que lo está haciendo bien. En otro caso, ajuste las secciones y las demás formas, hasta que todo concuerde y tenga un aspecto agradable.

Siga trabajando y vuelva su atención, quizás, a D1 y AWL, que en este caso se encuentra 6 pulgadas (152 mm) por debajo de la LWL, y después a la Longitudinal 2. Todavía quedan por dibujar tres medias secciones, pero cuando el trabajo sugerido hasta el momento haya terminado, dibuje las secciones restantes y más tarde la D3 y las demás líneas de agua, comprobando y corrigiendo según trabaja.

Si coloca las medias secciones sobre la vista de perfil, tal como se indica, le será más fácil comprobar que la altura de la longitudinal vista de forma transversal y de perfil coinciden, y si dibuja todo con un lápiz con mina afilada HB, borrar no será un problema (y va a tener que hacerlo bastante).

Antes de ir demasiado lejos, cuando parezca que ya no va a modificar mucho más las secciones, compruebe que el desplazamiento se aproxima al que se desea. Ahora, una rápida ojeada a los cálculos de desplazamiento, Tabla 9, nos muestra una cifra ligeramente superior a una tonelada, que es más o menos lo que necesitamos. Siempre es mejor tener un barco que potencialmente flote ligero que lo contrario.

Dibujar un plano de formas de un pantoque redondo es un tema que lleva bastante tiempo, pues una modificación en un lugar suele alterar otra media docena de cosas. Pero dedíquese tiempo y su paciencia se verá recompensada.

Por último, limpie el plano todo lo que pueda y asegúrese de que el punto de cruce está claro en los lugares donde las líneas cortan a las ordenadas. Después, mida los perfiles de la roda y la popa, según sea necesario, y anote las medidas en los lugares donde crea que el constructor las va a necesitar.

Cuando el plano de formas esté terminado, y trazado, sentirá una enorme satisfacción, aunque por sí solo, si bien es decorativo, no tiene mucha utilidad. Lo que el constructor desea es una tabla de semimangas que proporcione las medidas que puede utilizar para construir los moldes de construcción, o que le permitirán volver a dibujar el barco a tamaño real sobre el suelo de la sala de gálibos.

**Tabla 9.** Cálculos sobre desplazamiento para un velero de paseo de quilla de aleta y pantoque redondo.

Intervalo común, 2 pies y 1 ½ pulgada = 2,125 pies					
Ordenada	Superficie		Producto	Multiplicador	Producto
	Pies cuadrados	SM			
0	—	1	—	4	—
1	0,34	4	1,36	3	4,08
2	1,00	2	2,00	2	4,00
3	1,95	4	7,80	1	7,80
4	2,43	2	4,86	—	15,88 Total
5	2,28	4	9,12	1	9,12
6	1,44	2	2,88	2	5,76
7	0,37	4	1,48	3	4,44
8	—	1	—	4	—
			Total 29,50	Total 19,32	

Desplazamiento en pies cúbicos =  $2/3 \times 2,125 \times 29,50 = 41,79$

Desplazamiento en libras =  $41,79 \times 64 = 2.674$  en agua salada (1,19 toneladas)

Centro de carena (lcb) =  $\frac{19,32 - 15,88}{29,5} \times 2,125 = 0,25$

Es decir, el lcb está 0,25 pies a popa de la sección maestra (ordenada 4)

## Tabla de semimangas

En la Fig. 24 se muestra una disposición típica de una tabla de semimangas aplicable a este barco. Todo es bastante sencillo, pero resulta muy útil que una persona pueda medir y leer en alto las semimangas que aparecen en el plano de formas original (no en el trazado) y que otra las anote. En la Fig. 25 aparece el plano de formas y en la Fig. 26 la tabla de semimangas completa para el crucero de 14 pies y 6 pulgadas citado en el Capítulo 2.

En las Figs. 28 y 30 vemos otros dos planos de formas para barcos de pantoque redondo. El de la Fig. 27 es un bote de 19 pies (5,8 m) y en la Fig. 28 aparece su plano de formas, en borrador provisional. Utilizando los perfiles de la cubierta, la quilla, las líneas de agua, las longitudinales y la diagonal (y asegurándonos de que el motor encajará donde sea necesario, con una hélice adecuada capaz de girar dejando el espacio suficiente) se dibuja el plano de formas apropiado. Se realiza una comprobación final del desplazamiento y después se redacta la tabla de semimangas.

Hasta ahora nos hemos centrado casi exclusivamente en barcos pequeños; después de todo, no es probable que el diseñador principiante se atreva con un enorme y caro barco para dar la vuelta al mundo o para regatas de altura. Pero todo lo que hemos mencionado se refiere tanto a barcos grandes

Ordenada	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Semimangas desde $\zeta$									
Cubierta de lado						2-11-3			
LWL						2-10-2			
LWL						2-7-3			
Awl						2-0-1			
Alefriz						0-2-4			
Alturas por encima y por debajo de la LWL									
Cubierta de lado						1-3-6			
Longitudinal 1						-0-11-2			
Longitudinal 2						-0-6-1			
Alefriz						-1-5-3			
Fondo de la quilla						-3-6-4			
Diagonales desde $\zeta$									
Diagonal 1						3-3-4			
Diagonal 2						2-4-0			
Diagonal 3						0-11-0			

Semimangas en pies, pulgadas y octavas para la parte exterior de la tablazón. El sufijo - en la tabla de alturas indica la semimanga por debajo de la LWL. Las diagonales que forman ángulo de 45° con las ordenadas tienen una separación de 2 pies 1 1/2 pulgadas.

Fig. 24. *Modo de establecer la tabla de semimangas del velero de paseo, con una columna rellena.*

como a pequeños, y la Fig. 29 muestra una goleta de 66 pies (20 m) diseñada para navegar por el océano Ártico. La superficie vélica útil es de unos 2.000 pies cuadrados (185 m<sup>2</sup>). En la Fig. 30 aparece su plano de formas. Al igual que el bote, tiene una popa de bovedilla corta.

Una vez completa la tabla de semimangas, dibuje otra vez las medias secciones a una escala tan grande como sea conveniente. Entonces, cualquier inexactitud resultará evidente y un análisis del plano de formas y, si es necesario, algunos repasos a los dibujos pondrán las cosas en su sitio. Acuértese de modificar la tabla de semimangas incluyendo estas correcciones.

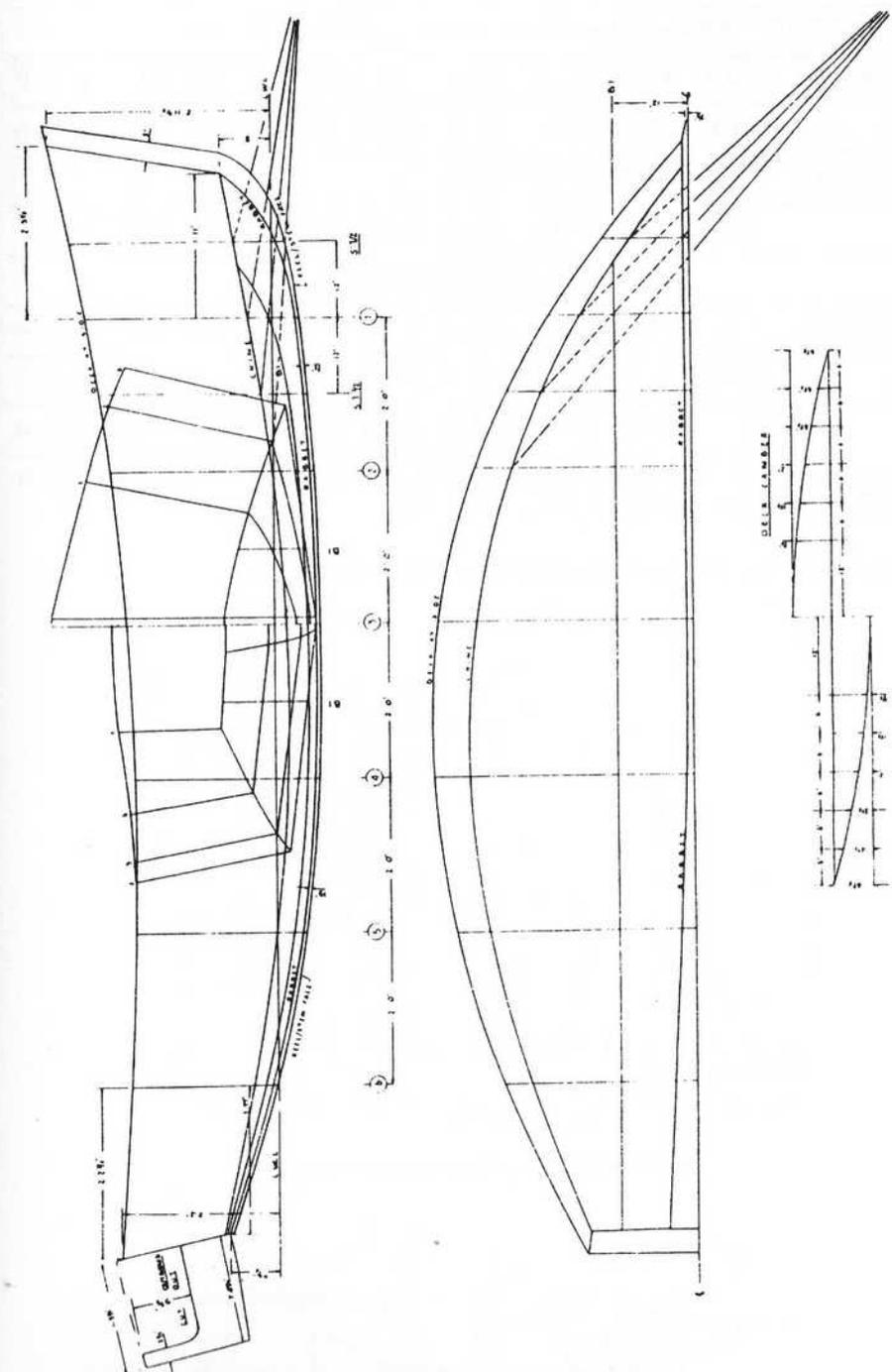


Fig. 25. *Plano de formas del bote auxiliar de crucero.*

Ordenadas	$\frac{1}{2}$		$1\frac{1}{2}$							
Cuaderna	1	2	3	4	5	6	7			
Alturas por encima y por debajo de la LWL										
Cubierta de lado	2-8-1	2-5-5	2-3-5	2-1-7	1-11-3	1-10-3	1-10-2	1-11-1	2-1-0	
Pantoque	0-6-0	0-3-7	0-2-0	0-0-2	0-2-0	0-2-1	0-0-0	0-3-6	0-8-6	
Longitudinal (B1)	0-0-4	0-2-3	0-3-6	—	—	—	—	—	—	
Alefriz	0-0-4	0-3-3	0-4-6	0-5-6	0-6-4	0-6-3	0-4-1	0-0-7	0-7-7	
$\frac{1}{2}$ semimangas desde $\zeta$										
Cubierta de lado	1-1-7	1-10-3	2-5-1	2-10-2	3-4-2	3-5-1	3-1-6	2-6-3	1-5-4	
Pantoque	0-9-2	1-5-2	1-11-5	2-4-4	2-10-1	2-11-3	2-8-4	2-2-1	1-4-7	
Alefriz	0-1-0	0-1-0	0-1-0	0-1-0	0-1-0	0-1-2	0-2-2	0-3-3	0-4-4	

Semimangas en pies, pulgadas y octavas para la parte exterior de la tablazón. El sufijo - en la tabla de alturas indica la semimanga por debajo de la LWL.

Fig. 26. Semimangas del bote de crucero de 14 pies y 6 pulgadas.

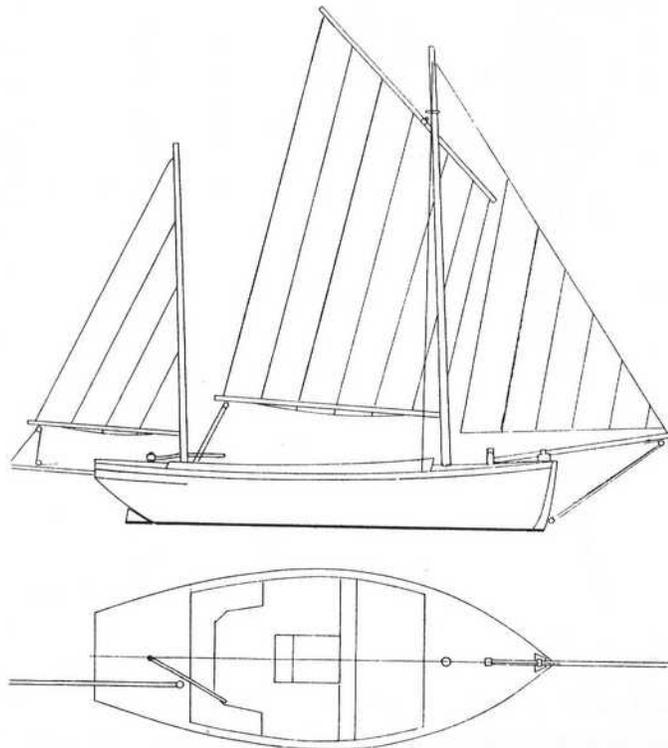


Fig. 27. Perfil de un bote de 19 pies (5,8 m). Probablemente llevará un solo motor auxiliar diesel de 15 hp que le proporcionará una velocidad máxima de 6 nudos.

En un barco de pantoque vivo, o en uno con cuadernas normales y no curvadas con vapor, el hecho de proporcionar las semimangas en las cuadernas en lugar de en las ordenadas de desplazamiento servirá de ayuda al constructor. Aunque deberá dibujar estas últimas con el fin de hallar el desplazamiento y el centro de carena LCB, no serán utilizadas para las semimangas. Con sinceridad, hay pocos constructores que realmente dibujen las formas. Prefieren ir corrigiendo el barco según lo van construyendo; de este modo, las medidas de las semimangas en las cuadernas les ahorrarán tiempo, y a usted le hará ahorrar dinero.

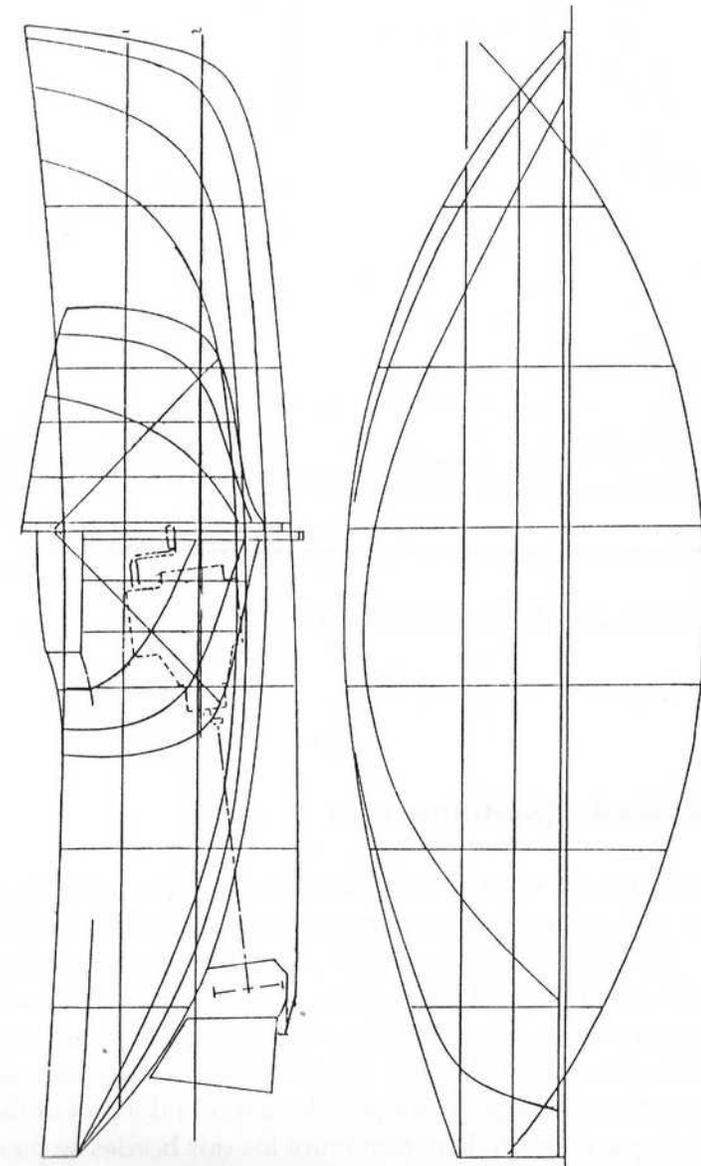
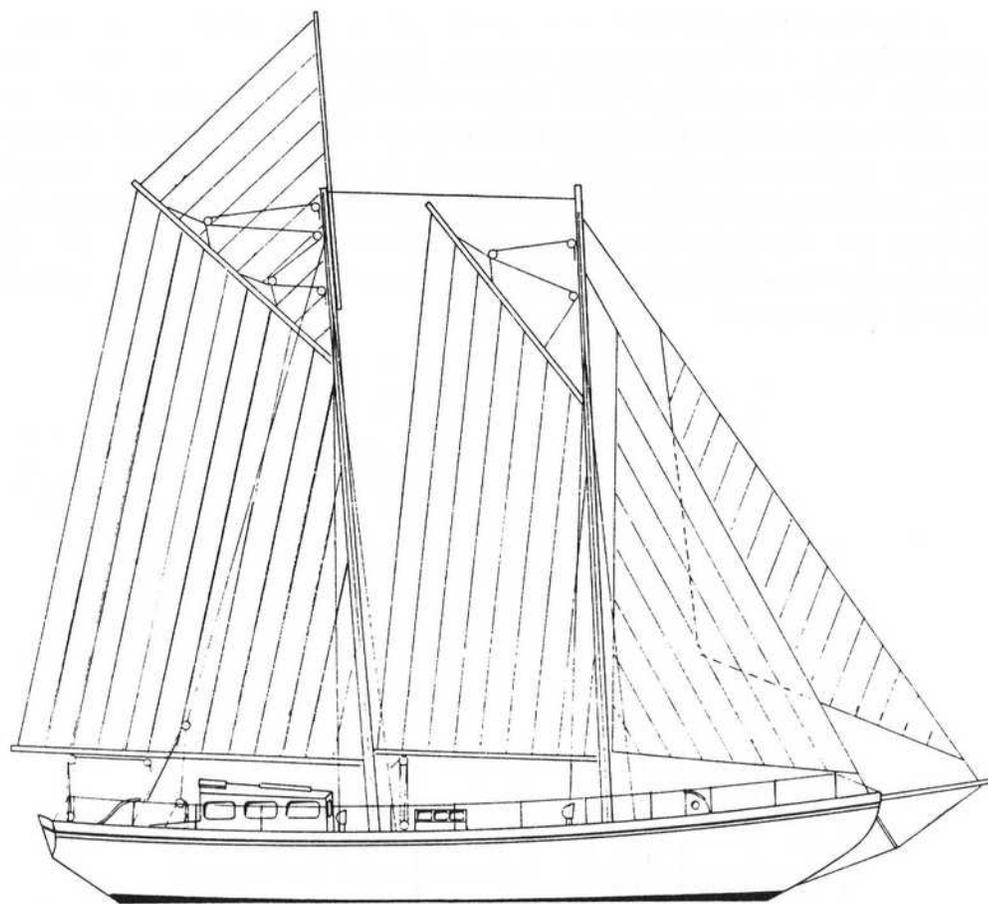
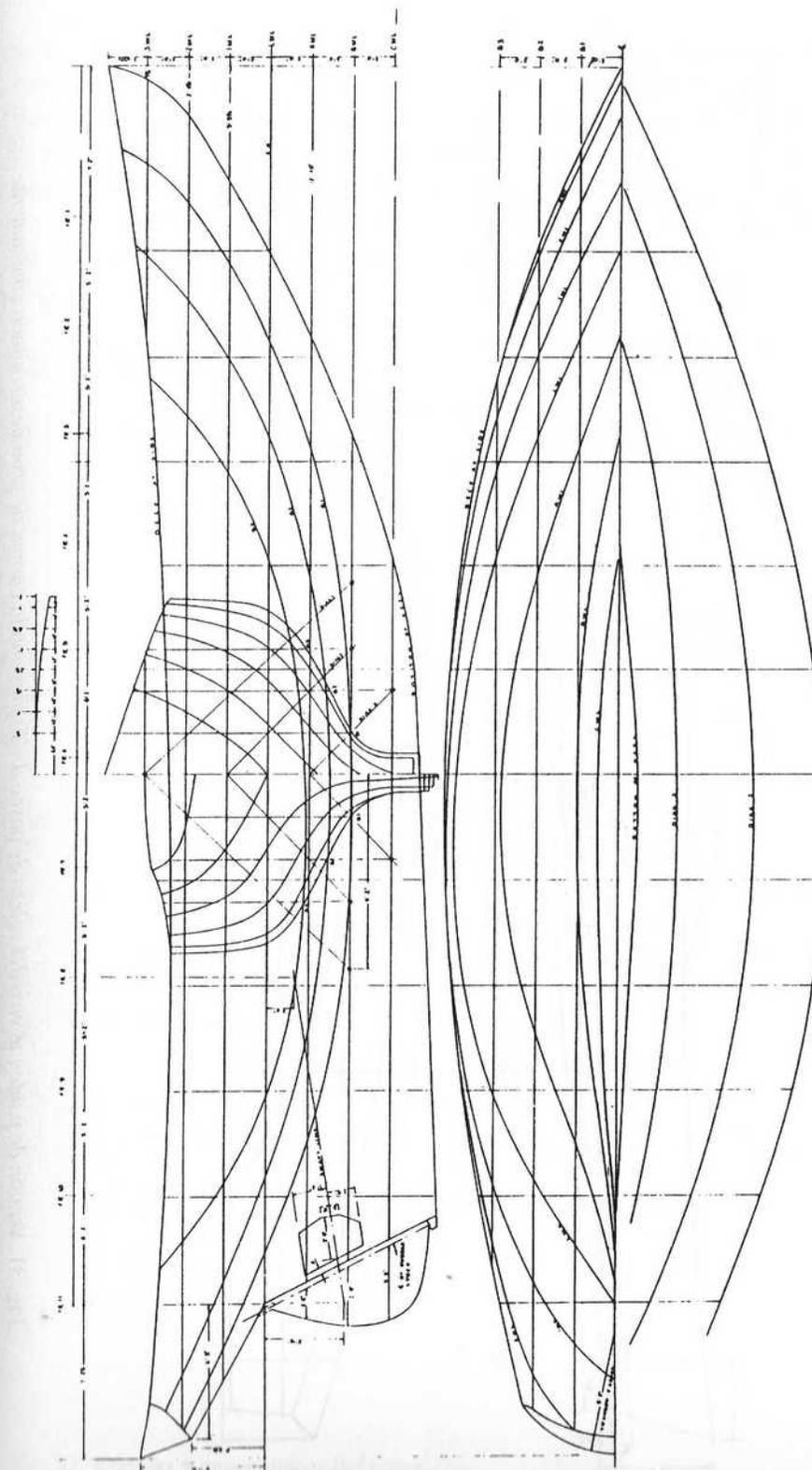


Fig. 28. Plano de formas preliminar del bote.

Fig. 29. *Goleta para travesía de exploración por el Ártico.*

### Plano de formas del pantoque vivo

En la Fig. 31 aparece la versión de orza del velero de paseo de pantoque vivo. Por lo general, aunque incorrectamente, se muestra un barco con carena en V con secciones de formas rectas. De este modo, sólo están dibujadas las líneas de la cubierta, el pantoque y el alefriz, con líneas rectas que definen las secciones en cada ordenada. Sin embargo, si sujetamos un trozo de cartón de manera que el borde inferior represente la línea de la quilla y el canto superior se retuerce adoptando la forma del pantoque vivo en la proa, veremos que el trozo de cartón entre los dos bordes se ha curvado, lo que significa que, en realidad, las secciones entre el pantoque y la quilla son curvas y no rectas.

Fig. 30. *Plano de formas de la goleta.*



Dibuje la línea del pantoque vivo en planta y de perfil al mismo tiempo, con el alefriz en planta. Podemos esbozar ligeramente el alefriz de perfil como guía de la forma deseada. Después tenemos que encontrar los vértices del cono en planta y de perfil, que producirán la esperada curva, especialmente alrededor del pie de roda. Estos vértices estarán siempre por debajo de la línea de máxima carga, debajo de la crujía en la vista en planta, y a la derecha de la ordenada 0. Y lo más importante, los vértices deben estar situados en la misma línea vertical.

Coloque una hoja de papel de calco sobre el plano de formas y experimente. Dibuje una generatriz desde el vértice en planta hasta la intersección de la línea del pantoque y la ordenada cruzará el alefriz en planta en algún lugar. Proyecte este punto hacia arriba hasta la misma generatriz de perfil y su intersección nos dará un punto para el alefriz de perfil. Las generatrices normalmente no se dibujan hacia la popa más allá de la sección maestra; en la Fig. 26, lo más lejos que llegan es hasta el pantoque en la ordenada 3.

Podrá encontrar los vértices adecuados al primer o segundo intento, o quizás sólo después de diez o más. Mueva los vértices acercándolos o separándolos entre sí; acérquelos o sepárelos a la ordenada 0; y no desespere. Siga intentándolo, y lo que le parecía ridículo al comienzo, de repente le saldrá.

Cuando la curva del pie de roda tenga un aspecto adecuado, deberá volver su atención a las líneas de agua y a las longitudinales. Su forma viene determinada por los puntos de cruce de la generatriz con el alefriz. Eche otra ojeada a la Fig. 32 y comprenderá todo.

Únicamente una parte de la carena de proa tendrá la forma dictada por este esquema de proyección cónica. Desde la sección maestra hacia la popa, las secciones de este barco estarán formadas por líneas rectas, pues el pantoque y el alefriz van razonablemente paralelos con poca torsión entre sí. Aunque en los barcos de proa noruega o de canoa, normalmente se necesita otra proyección en la popa. Corrija cualquier parte donde las secciones estén formadas por líneas rectas en zonas curvas. La Fig. 9 mostraba los vértices de las generatrices formando una proyección cónica para la carena de proa del bote auxiliar del crucero. Trabaje las posiciones de los vértices en el plano de formas inicial a escala pequeña; también puede dibujar las formas a mayor escala en el papel, de tal manera que los vértices de los conos estén situados sobre el canto del tablero de dibujo.

### Centro vélico (CE) y «empuje»

Ahora debemos comprobar la colocación del plano vélico. Anteriormente mencionamos que el palo debía estar ligeramente a proa del pie de la quilla o de la orza. Eso estaba muy bien, pero ha llegado el momento de colocarlo de modo algo más definido.

Después de haber dibujado la ordenada de la cuaderna maestra, recorte el perfil sumergido del barco, incluyendo el timón, en papel de calcar. Dóblelo unas cuantas veces en sentido longitudinal, como si fuera un acordeón, y después equilíbrela con la punta del compás. Pinche sobre este punto y traspase el papel, después desdóblelo: ése es el centro de deriva (CLR, *centre of lateral resistance*) y el punto sobre el cual girará el barco.

Después halle la superficie y el centro de la superficie de cada vela. Podemos dividir una mayor cangreja en dos triángulos. El centro de la superficie de un triángulo se halla dividiendo dos lados en dos partes y trazando líneas a los puntos situados en los centros de los lados desde los vértices opuestos (Fig. 33). La intersección de las dos líneas indica el centro de la superficie. Ahora mida la distancia de cada centro de superficie desde una perpendicular que pase por el extremo de proa de la línea de flotación a plena carga y multiplique esa distancia por la superficie de la vela. Sume estas cifras y divida el total entre la superficie vélica total.

Esto nos dará la posición del centro vélico (CE, *centre of effort*) a partir de la perpendicular de proa. Márquela en el perfil sumergido y mida la distancia entre el centro de deriva (CLR) y el centro vélico (CE). Esta distancia, dividida entre la eslora de flotación, y después multiplicada por 100, nos dará el porcentaje de «empuje» del centro vélico sobre el centro de deriva. El empuje será del 12-14 por ciento, aproximadamente, en barcos de casco poco profundo, quilla de aleta, con orza; de alrededor del 10 por ciento en yates clásicos con más calado, y del 8 por ciento en yates de crucero de forma clásica.

Para finalizar este apartado, hay un par de cosas que a veces resulta útil conocer. La primera es las toneladas por pulgada sumergida (TPI). Es decir, el número de toneladas de peso añadido (o sustraído) que hará que el barco se hunda o flote 1 pulgada sobre el agua. Se supone que el peso está situado sobre el centro de carena (lcb, *longitudinal centre of bouyancy*), y por ese motivo no causa un cambio en el asiento o trimado.

$$TPI = \frac{A}{420}$$

donde A es la superficie del plano de agua en el que el barco flota, en pies cuadrados.

De modo que si tenemos una embarcación de 25 pies en la línea de flotación con una manga en la flotación de 8 pies y la superficie del plano de agua es de 140 pies cuadrados:

$$TPI = \frac{140}{420} \text{ lo que da } 0,33 \text{ toneladas o } 746 \text{ libras.}$$

De este modo, si se colocaran 746 libras a bordo, o se bajarán a tierra, el barco variaría su asiento en 1 pulgada.

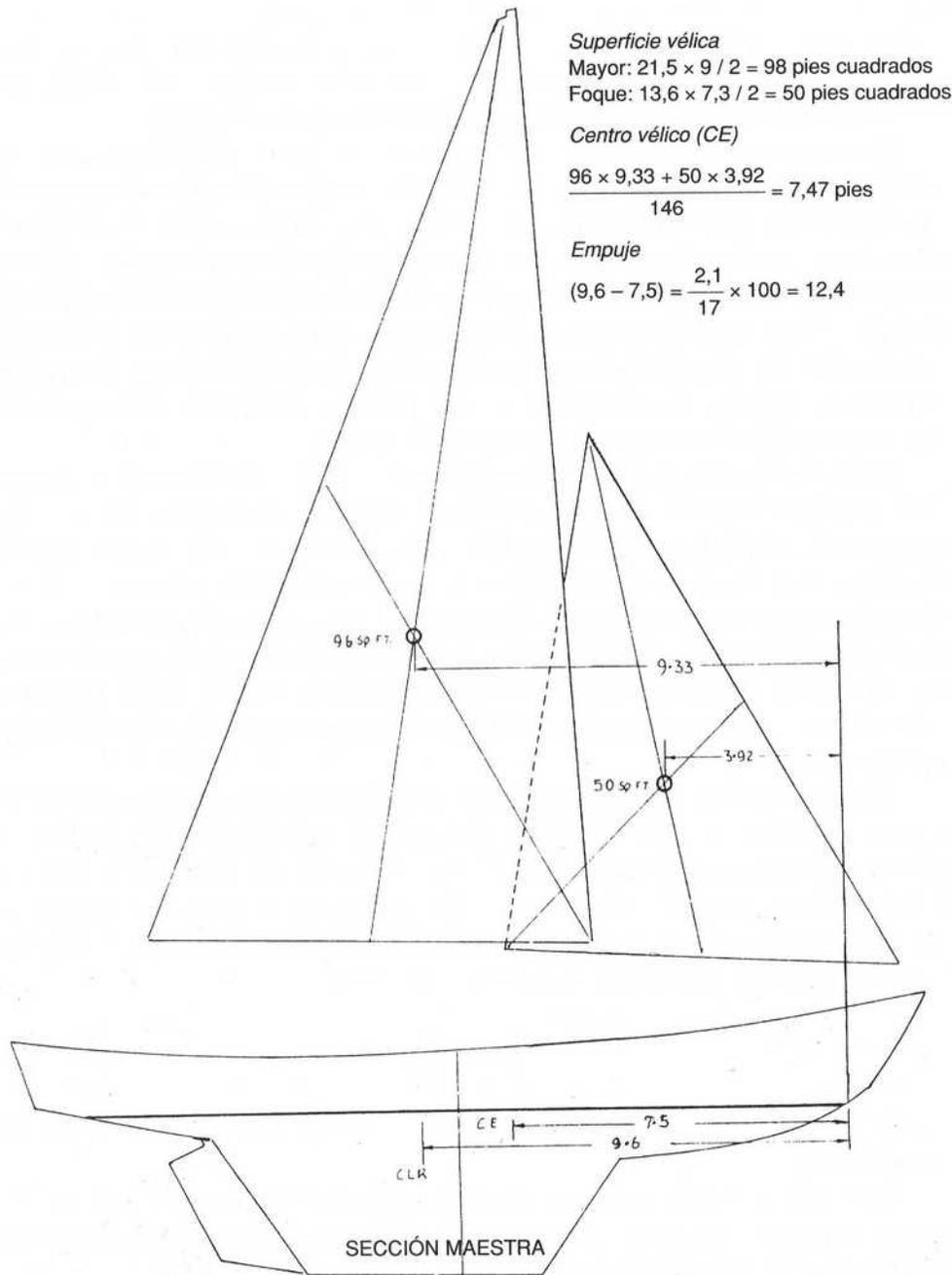


Fig. 33. Modo de hallar la posición del centro vélico (CE) y su empuje sobre el centro de deriva (CLR).

MCT prevé que la variación de peso produciría un cambio de calado de 1 pulgada.

$$MCT = 0,000175 \times \frac{A^2}{B} \text{ aproximadamente}$$

donde A es otra vez la superficie del plano de agua y B la manga en la flotación; en este caso, 140 pies cuadrados y 8 pies, respectivamente.

$$MCT = 0,000175 \times \frac{140^2}{8} \text{ lo que da } 0,43 \text{ toneladas por pie.}$$

De este modo, si 0,2 toneladas se desplazan 6 pies, sería  $0,2 \times 6$  toneladas pies, lo cual es 1,2 toneladas pie y la variación de asiento sería  $1,2 / 0,43$  o 2,8 pulgadas, repartidas entre la proa y la popa: proa hacia arriba, popa hacia abajo y viceversa girando alrededor del centro de gravedad (lcg).

## 4. Diseño de barcos de motor

---

Los capítulos anteriores se han dedicado casi exclusivamente a los barcos de vela, de modo que ahora debemos llegar a un equilibrio y echar un vistazo a los barcos de motor, mientras aseguramos a las personas interesadas en el motor, que han avanzado con dificultad a través de los primeros capítulos, que no han perdido el tiempo. La mecánica de dibujar planos de formas, corregirlos, y elaborar los cálculos sobre pesos y desplazamientos es exactamente la misma, sea cual sea el tipo de barco que diseñemos. Sólo la forma del casco puede ser diferente, e incluso no siempre es así. La carena de un barco de motor de poca velocidad será similar a la del casco de un velero, sencillamente porque con una cantidad limitada de potencia, proceda de las velas o de un motor, el casco debe ofrecer la mínima resistencia posible al desplazarse por el agua.

Las Figs. 34 y 35 muestran un ejemplo del modelo crucero fluvial de 27 pies y 6 pulgadas por 10 pies y 3 pulgadas (8,4 m x 3,1 m) con un desplazamiento de 3 toneladas, tiene un motor de 10 hp que le proporciona una velocidad de alrededor de 6 1/2 nudos. Su eslora en la flotación es de 25 pies (7,6 m). El espejo está alejado del agua y las longitudinales describen curvas suaves para despejar los remolinos que se forman alrededor de la popa con la menor agitación posible. La configuración de pantoque redondo habría sido una ligera ventaja desde el punto de vista de la facilidad de la navegación, pero estaba construido en aleación de aluminio, utilizando este material en forma de planchas, lo que ahorra una considerable cantidad de dinero; un tema que no debemos despreciar.

Pero, cuando hablamos en general de barcos de motor de baja velocidad, ¿qué queremos decir realmente? ¿Cuándo se convierte la baja velocidad en

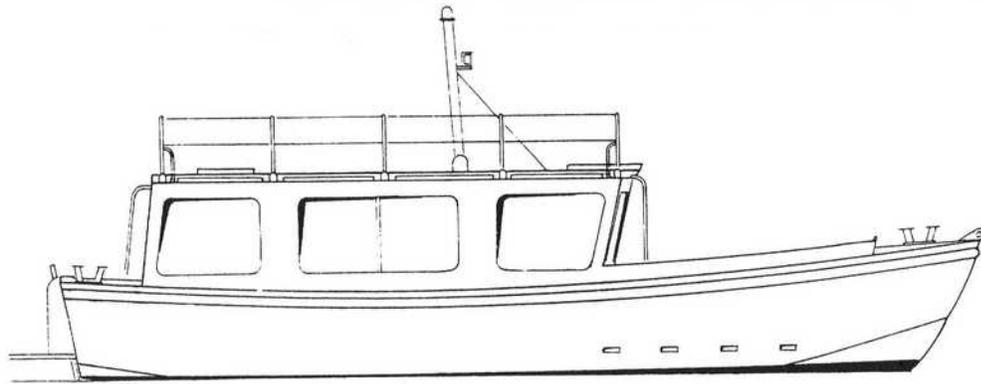


Fig. 34. Perfil de la obra muerta del crucero fluvial de 27 pies y 6 pulgadas.

algo más? Bien, antes de responder, hay un término que debemos comprender.

### Relación velocidad / eslora

Aquí, la velocidad del barco en nudos ( $V$ ) se compara con la eslora de flotación en pies ( $L$ ).  $V/\sqrt{L}$  es la relación velocidad / eslora. De este modo, un barco de 25 pies de eslora en la flotación que navegue, por ejemplo, a 6 nudos tiene una relación velocidad / eslora de:  $6/\sqrt{25}$  o  $6/5$ , lo que es igual a 1:2. A 10 nudos, su relación velocidad / eslora es de  $10/\sqrt{25}$ , lo que da un resultado de 2. Un ferry de 300 pies a 20 nudos tiene una relación velocidad / eslora de:  $20/\sqrt{300}$ , lo que significa 1:15, y así sucesivamente.

Principalmente, esto nos permite definir la categoría de barco que aplicaremos a un buque concreto, y de ese modo diseñar un casco que esté de acuerdo con esta categoría. A este fin hemos definido las categorías del modo siguiente:

- *Velocidad baja*: hasta relación velocidad / eslora de alrededor de 1,6
- *Velocidad media*: con relación velocidad / eslora de entre 1,6 y 3
- *Velocidad alta*: con una relación velocidad / eslora por encima de 3

Veremos que, utilizando la relación velocidad / eslora, podemos englobar todo tipo de tamaños y velocidades. Un barco de motor de 30 pies en la línea de flotación que alcance una velocidad de 20 nudos tiene una relación velocidad / eslora de 3,6 y, por lo tanto, puede clasificarse como barco de alta velocidad, pero uno de 200 pies con la misma velocidad de 20 nudos tiene

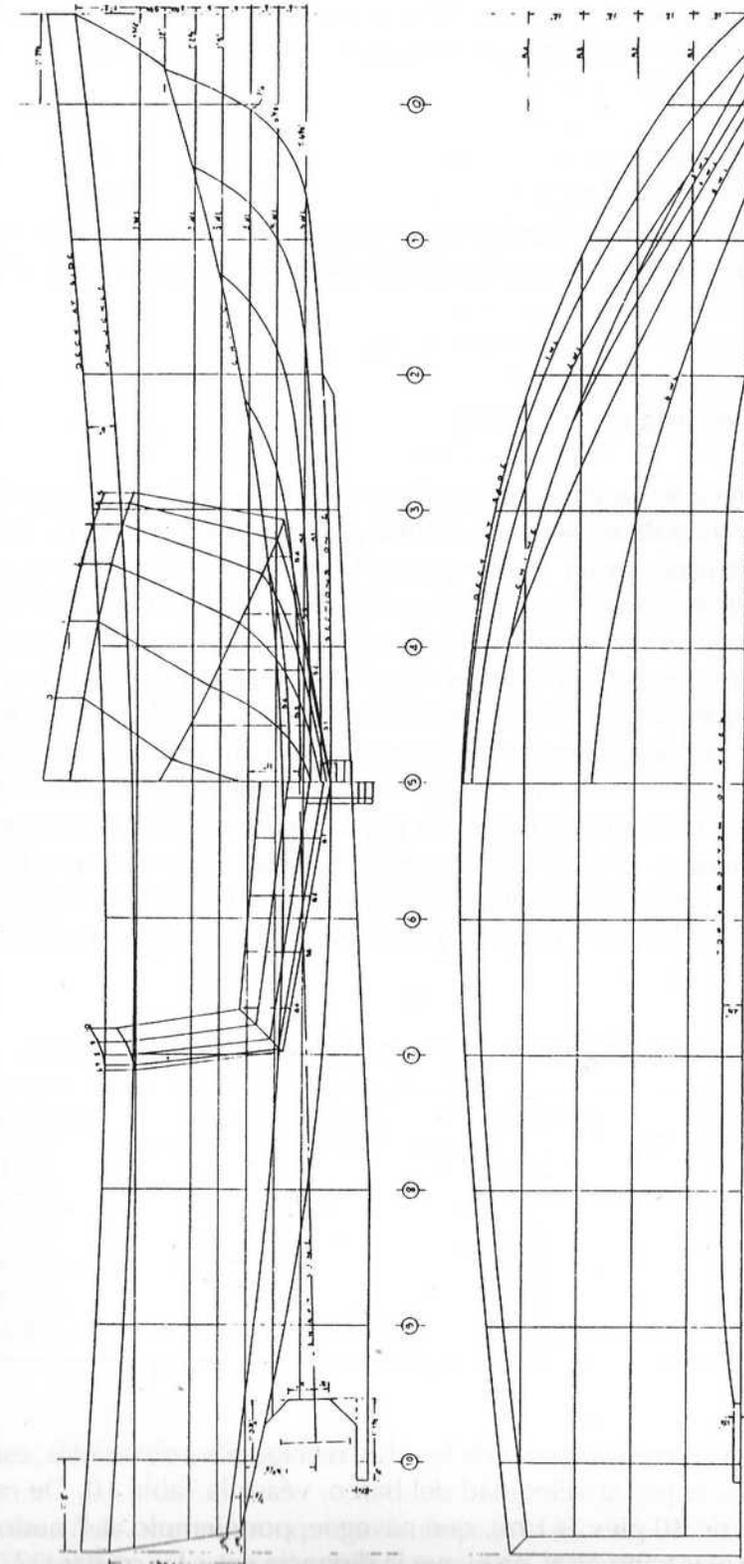


Fig. 35. Plano de formas del crucero fluvial. Como todos los demás barcos de pantoque sencillo y doble que aparecen en este libro, las secciones de proa tienen un desarrollo cónico.

una relación velocidad / eslora de 1,15, y por lo tanto es de baja velocidad, y como tal se denomina. Para que un barco sea considerado de alta velocidad, debe navegar a:

$$V/\sqrt{L} = 3 \text{ (o más)}$$

$$V = 3 \times \sqrt{L} \text{ o } V = 3 \times 17,3$$

$V = 52$  nudos, e incluso entonces sería comparativamente más lento que el barco de 30 pies que navegaba con una relación velocidad / eslora de 3,6.

### Formación de olas

Cuando un barco se desplaza, lanza el agua hacia los lados y, al hacerlo, forma olas. Una serie de estas olas causadas por la presión se desplaza en diagonal desde la proa, y otra, menos perceptible, lo hace desde la popa. Otra serie de olas, más grandes, corre en sentido transversal a lo largo de los costados del barco con una cresta visible desde la proa, seguida de un seno y de otra cresta, que, dependiendo de la velocidad del barco, puede situarse en algún lugar de la eslora del casco o más allá de la popa. En los grandes barcos, en particular, pueden formarse varias crestas inicialmente en la eslora del casco; pero al aumentar la velocidad, las olas se alargan hasta que se origine una cresta en la proa y otra en la popa, y después sólo una cresta visible cerca de la proa. El resto del sistema de olas habrá pasado hacia la popa. Se necesita cierta potencia para formar estas olas, y un barco pesado y voluminoso formará olas más grandes y profundas que otro ligero y esbelto.

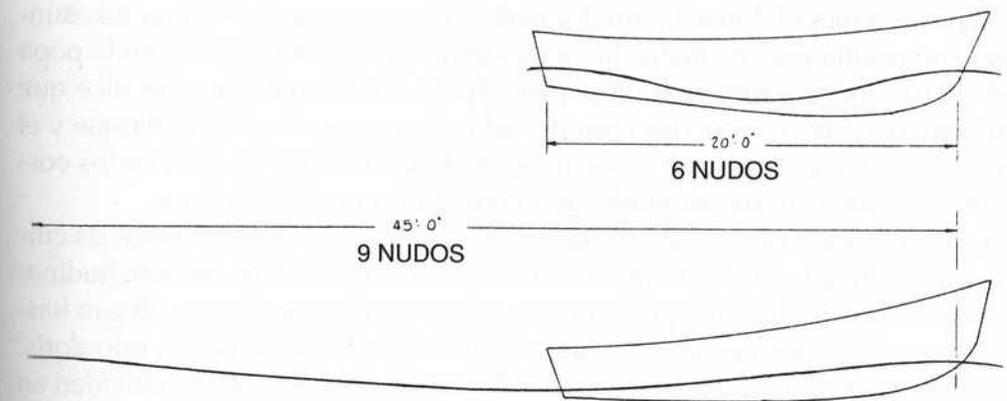
**Tabla 10.** La longitud de las olas depende de la velocidad del barco.

Velocidad (nudos)	Eslora (pies)	Velocidad (nudos)	Eslora (pies)
6	20,0	12	80,1
7	27,2	14	109,6
8	35,6	16	142,4
9	45,0	20	222,5
10	55,6	25	347,7
11	67,3	30	500,6

La distancia entre las crestas de las olas, o la longitud de las olas, está dictada enteramente por la velocidad del barco, véase la Tabla 10. De manera que un barco de 30 pies (9,1 m), que navegue, por ejemplo, a 7 nudos crea un sistema de olas transversal, en el que la distancia entre las crestas (27,2 pies)

es inferior a la eslora del barco. A una velocidad de entre 7 y 8 nudos, la cresta de popa se habrá desplazado hacia la popa del barco y seguirá desplazándose más aún hacia la popa según aumente la velocidad. Por ejemplo, a 10 nudos, la longitud de la ola entre las crestas será de más de 55 pies. Cuando la longitud de la ola es igual a la eslora del casco, la velocidad se conoce como velocidad de desplazamiento del barco o velocidad del casco. En un barco de 40 pies, ésta sería de entre 8 y 9 nudos; en un barco de 80 pies, de 12 nudos, y así sucesivamente. De forma específica, la velocidad del casco tiene una relación velocidad / eslora de 1,34. Cualquier clase de embarcación, desde un bote hasta un «superpetrolero», origina olas de la misma longitud a la misma velocidad. Únicamente el tamaño de la ola es lo que cambia dependiendo del peso del barco y de su forma.

Lo que sucede en la práctica se muestra en la Fig. 36. Un barco de unos 21 pies (6,4 m) en la línea de flotación aparece desplazándose primero a unos 6 nudos. La Tabla 10 indica que, a esa velocidad, la longitud de la ola es de 20 pies, por lo que el buque estará mantenido por crestas en la proa y en la popa y navegará muy bien equilibrado. El croquis inferior supone que la velocidad ha aumentado a 9 nudos. La longitud de la ola es ahora de 45 pies. La proa sigue estando mantenida por la cresta de la ola de proa, pero en la popa se ha producido un hueco. El barco tiene un asiento horrible con la proa levantada e intenta avanzar hacia arriba: una tarea que consume mucha potencia.



**Fig. 36.** Al aumentar la velocidad del barco, el sistema de olas se alarga y el barco hunde la popa.

### Cascos de barcos de motor

La manera más normal, aunque no la única, de superar este comportamiento de levantar la proa excesivamente es contar con un casco con un espejo

ancho y voluminoso, y secciones de popa contra las cuales el agua al chocar pueda ejercer un buen empuje hacia arriba. El barco presentará un perfil con forma de cuña a este torrente y el resultado será que tenderá a levantar la parte más profunda —la popa—, reduciendo de este modo la posición de proa hacia arriba.

Podemos imaginar que el crucero fluvial de las Figs. 34 y 35 presentará una lamentable imagen cuando trate de adquirir velocidades que superen su velocidad de desplazamiento. Se asentará con la proa mantenida por la cresta de la ola de proa y su comportamiento general será tal que sus longitudinales de popa se colocarán planas a la pendiente de la ola.

Considerablemente mejor se comportará la pequeña embarcación de servicio, de acero, de la Fig. 37. Aunque no está diseñada para altas velocidades, su marcha en popa es razonablemente plana, lo que unido a un espejo sumergido le hará navegar en un ángulo profundo pero aceptable, en el que el agua al chocar actuará levantando la popa siempre que lleve la potencia adecuada.

Respecto a la conquista de la velocidad, aún mejor es una forma de casco en el que las longitudinales de popa queden bastante paralelas a la línea de flotación diseñada y que la anchura del espejo sea la parte más ancha del barco, o casi. Un leve rebajo hacia la popa desde la punta de la máxima manga parece mejor, aunque la palabra operativa sería delgado. En la Fig. 38 se muestran estas características en un casco de una lancha rápida de 27 pies x 9 pies (8,2 m x 2,7 m) diseñada para navegar a unos 35 nudos. Aunque no resulta muy evidente, tiene una pequeña superficie plana en la popa de la carena para fomentar un planeo rápido. Ocasionalmente, se dice que un barco planea cuando los costados situados por encima del pantoque y el espejo no tocan el agua al navegar. Se debe dar a las partes altas de los costados un buen ensanchamiento para conseguir una cubierta seca.

Para lograr unas buenas cualidades de sustentación, es mejor evitar las curvas tanto longitudinales como transversales. De este modo, las longitudinales procedentes de algún punto cercano a la sección maestra que llegan hasta el espejo deben ser también planas. Un barco de motor plano, tipo doris, sería perfecto para dar una vuelta, o incluso para navegar a gran velocidad en aguas tranquilas, y enseguida planearía, pero sería voluble en condiciones de vientos duros, y navegando a gran velocidad apenas se apoyaría en el agua. Con mar gruesa, se rompería en pedazos en un momento. De modo que los cascos más prácticos deben tener cierta forma de V o astilla muerta. Cuanto más grande sea la V mayor será la pérdida de sustentación, pero mayores las cualidades de navegabilidad y, finalmente, los grandes ángulos de astilla muerta pueden ocasionar un mejor rendimiento a gran velocidad, puesto que permiten reducir progresivamente la manga en la flotación. Pero trataremos más este tema en los apartados sobre la manga y los redanes, que se exponen a continuación.

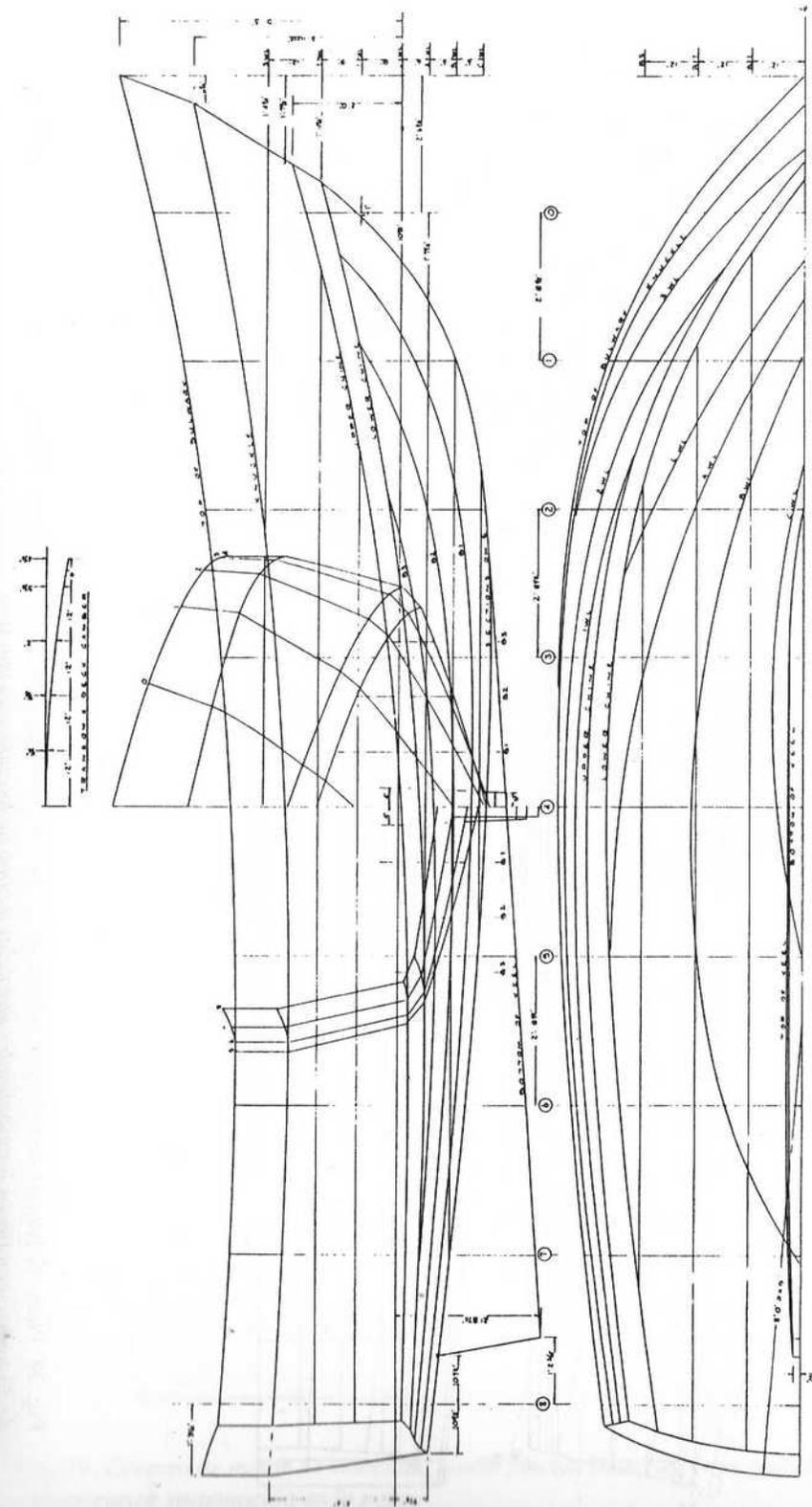


Fig. 37. Un casco de pantoque vivo es menos eficaz debido al brusco ángulo que forma a lo largo de la carena en la línea del pantoque. Es posible reducir la resistencia suavizando dicho ángulo, como se ve en el barco de servicio que aparece arriba.

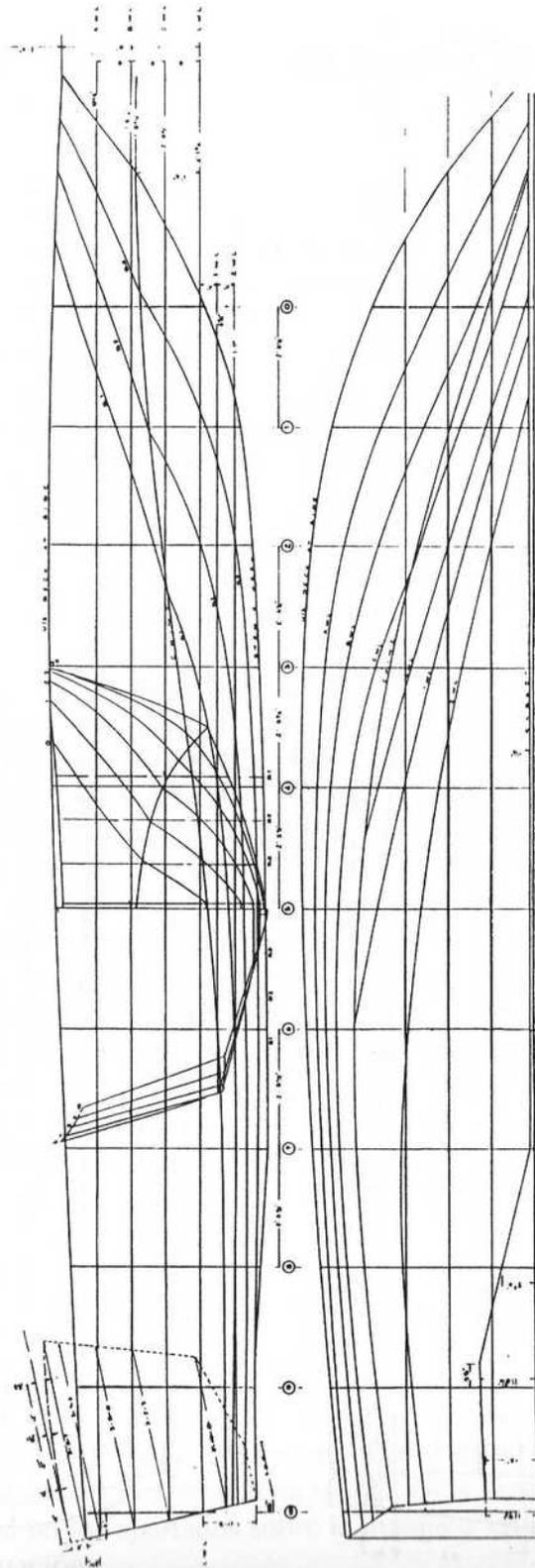


Fig. 38. Plano de formas de la lancha rápida de 28 pies de pantoque sencillo, diseñado para alcanzar una velocidad aproximada de 35 nudos, con líneas longitudinales paralelas a popa de la cuaderna maestra.

Resumiendo, los barcos previstos para alcanzar velocidades medias están diseñados teniendo en cuenta unas cualidades razonables de baja velocidad. Esto es, longitudinales subiendo progresivamente en la popa y espejos ligeramente sumergidos permiten que el agua salga uniforme de la popa sin demasiada turbulencia. Por otra parte, los barcos rápidos se diseñan sin tener en cuenta nada más que la velocidad. Las líneas de la popa son bastante paralelas a la línea de flotación diseñada, cuya consecuencia es un espejo profundamente sumergido. Éste arroja gran cantidad de agua detrás a baja velocidad, con efectos desastrosos sobre el rendimiento a baja velocidad.

En las Figs. 39 y 40 se muestra una forma de compromiso. Es un crucero de velocidad media: unos 12 nudos, como máximo, que con una eslora en la flotación de 9,9 m (32 pies 6 pulgadas) tiene una relación velocidad/eslora de 2:1. Aquí las longitudinales de popa comienzan subiendo de la manera convencional, pero después se enderezan formando una superficie perfectamente plana en el espejo. Al introducir el barco la popa en el agua

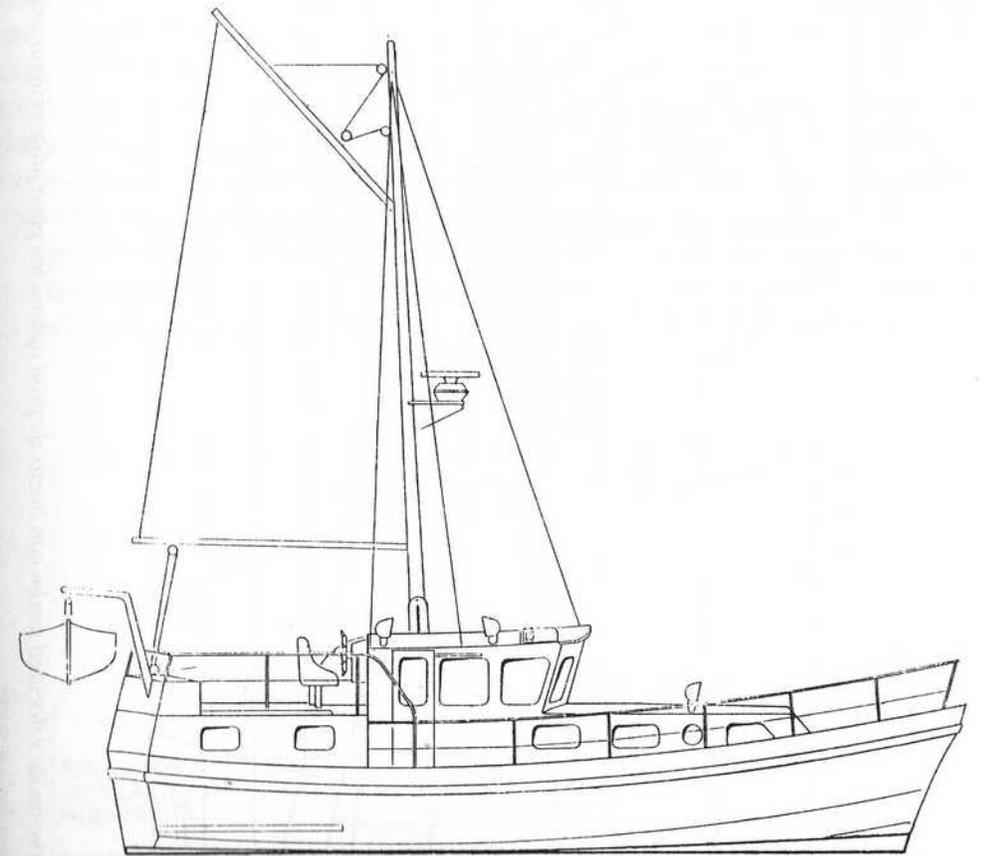


Fig. 39. Crucero de motor de velocidad media con las líneas de popa planas para proporcionar mayor sustentación en la popa.

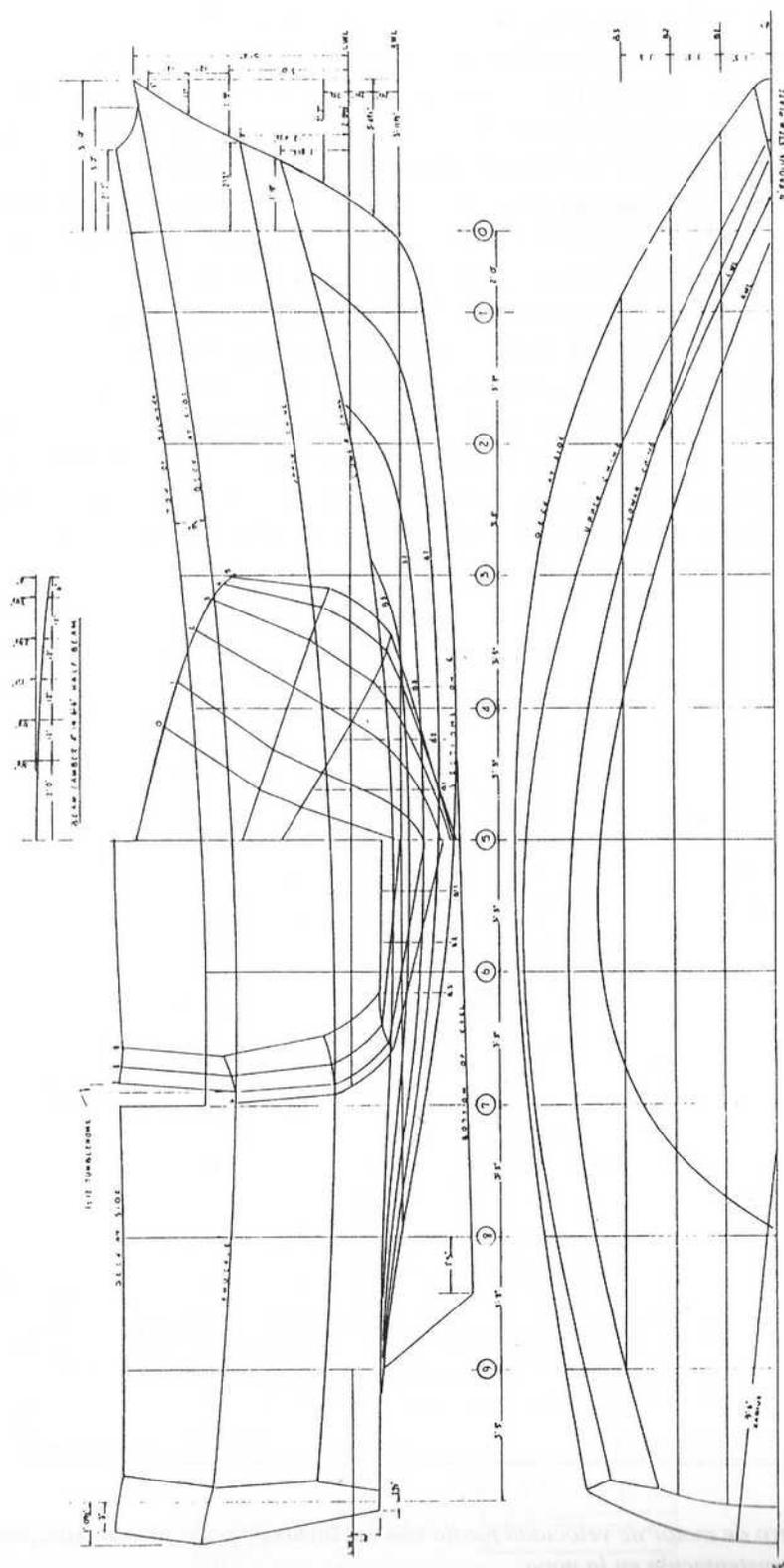


Fig. 40. Crucero de velocidad media con líneas de proa aplanadas para proporcionar una superficie de sustentación que sirva para contrarrestar el excesivo calado a popa.

mientras va aumentando la velocidad, esta superficie forma un ángulo con el flujo de agua y actúa como una cuña levantando la popa. Este sistema ha funcionado estupendamente después de realizar pruebas a flote para hallar el mejor tamaño y ángulo para la cuña, que posteriormente podrá ser incorporada a la carena del casco o bien permanecer (a babor y estribor) como cuñas adosadas. Sin embargo, podemos imaginar que las cuñas continuarán actuando hasta que estén paralelas a la línea de flotación, y ya no hagan ningún efecto. Si formarían ángulo con la popa, al principio harían que el barco calara por la proa a cierta velocidad, lo que resultaría peligroso e ineficiente. Normalmente, el mejor rendimiento se consigue con un asiento que levante la proa de 2 a 4 grados.

En todos los casos, la forma de pantoque vivo es preferible e indispensable para que los barcos rápidos mantengan lo más secas posible, durante la navegación, las partes altas de los costados situadas encima del pantoque, reduciendo así la resistencia de fricción. Una vagra de pantoque (Fig. 41) contribuye a eso físicamente. Cuanto mayor sea la superficie en contacto con el mar, más potencia se necesitará para mover el barco. En los casos de pantoque doble, tal como vemos aquí en un barco de velocidad media, para suavizar el abrupto cambio de forma que tiene lugar en los casos de un solo pantoque y también para reducir la resistencia, la vagra está situada encima del pantoque superior. En los casos de pantoque redondo, es absolutamente necesario que la vagra esté justo encima de la curva del pantoque de la popa, que debería tener un radio lo más cerrado posible.

Muchos motores dentrofuera y fuerafuera grandes disponen de mecanismos de inclinación (trimado) para poder elegir el ángulo de empuje de la hélice. Por medio de este sistema se modifica el trimado del barco y se

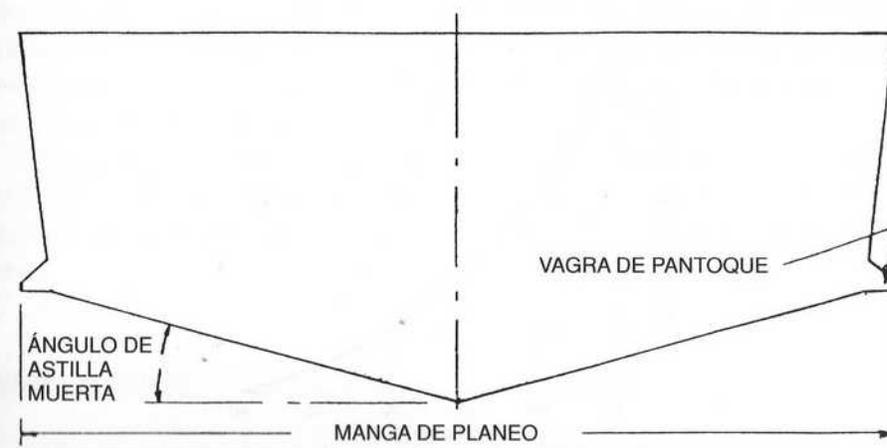


Fig. 41. Definiciones de algunos términos que se utilizan en la descripción del casco de un barco de motor.

consigue el mejor asiento durante la navegación. Los flaps o alerones en el espejo también pueden ser de utilidad para este fin.

## Tipos de barcos que forman poca ola

Al comienzo de este capítulo hemos mencionado la longitud de la ola de presión originada por el paso del barco según su velocidad, pero su profundidad desde la cresta hasta el seno está relacionada con su peso y su forma. Si la profundidad de la ola fuera pequeña, el barco no tendría que subir una pendiente tan pronunciada. Si fuera así, una embarcación ligera y poco voluminosa debería tener menos problemas que un barco de proa cuadrada para lograr velocidades considerables sin nefastos problemas de asiento. Evidentemente, esto se refiere a las embarcaciones de motor y también a los veleros. En el caso de estos últimos, un yate convencional con lastre exterior y una potencia limitada nunca puede superar el problema del asiento por el hecho de que escora y pierde potencia al aumentar el viento. Pero un barco tipo derivador, con un casco ligero y esbelto, y con la tripulación colocada de tal manera que su peso haga el máximo efecto para reducir la escora, puede pasar con facilidad a través de la barrera de la ola de presión. Igual podrá hacerlo, por ejemplo, un catamarán ligero en el que sus dos cascos contendrán la excesiva escora y la pérdida de potencia.

En el caso de los barcos de motor, es muy raro ver modelos que aprovechen la posibilidad, pero, entre la Primera y la Segunda Guerra Mundial, Camper and Nicholson construyó una gama de lanchas de forma aerodinámica, con pantoque redondo, de alrededor de 50 pies (15,2 m) de eslora con

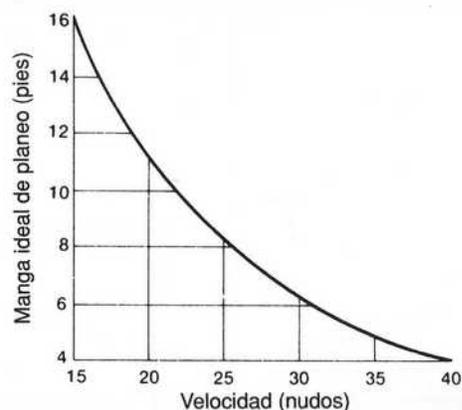


Fig. 42. Forma de manga ideal de planeo de una lancha rápida de motor de 25 pies en diferentes velocidades.

una manga estrecha de 8 pies (2,4 m) aproximadamente. De construcción ligera de madera, estas embarcaciones podían navegar a 20 nudos con un motor de 100 hp; una muy respetable relación velocidad/eslora de 2:8 lograda gracias a la utilización de un casco delgado que formaba poca ola.

Otro ejemplo es el modelo de aleación ligera de aluminio, de alrededor de 26 pies (7,9 m) con un desplazamiento aproximado de 1,3 toneladas, construido por Universal Shipyards en los años cincuenta y principios de los sesenta. Con una potencia de 65 hp, estas embarcaciones podían alcanzar 22 nudos; un triunfo para barcos de desplazamiento ligero. Esta relación velocidad/eslora de alrededor de 4,4 se alcanzó con un casco de pantoque redondo bastante alejado de la forma ideal de barco de planeo, hecho esencialmente curvando hacia arriba una plancha de aleación por cada costado.

## Manga y centro de carena

Las pruebas realizadas en el canal de ensayos hidrodinámicos nos permiten averiguar la manga de planeo ideal de cualquier barco rápido de motor si conocemos la velocidad, desplazamiento, astilla muerta, eslora en la flotación y posición de su centro de gravedad, previstos. La Fig. 42 muestra el resultado de un cálculo efectuado para un barco de 25 pies (7,6 m) en la eslora de flotación, un desplazamiento de cuatro toneladas y con su centro de gravedad situado a un 55 por ciento de la línea de flotación a popa del extremo de proa de dicha línea; su astilla muerta es de 15 grados.

De manera que si 20 nudos era la velocidad operativa prevista, la manga de pantoque media (Fig. 42) entre la sección maestra y el espejo sería de alrededor de 11 pies (3,3 m). Si el objetivo hubiera sido 30 nudos, estaría más indicada una manga de poco más de 1,8 m (6 pies). Lo que todo esto nos muestra es que la relación normal eslora/manga de 3:1 es adecuada para uso general, pero que si se desea conseguir velocidades operativas realmente elevadas es conveniente reducir la manga.

Los centros de carena y gravedad de casi todos los barcos de motor deberían estar situados aproximadamente a popa en el 55 por ciento de la longitud de la línea de flotación, medido a partir del extremo de proa de dicha línea.

## Astilla muerta

La astilla muerta es el ángulo que forma la carena con la horizontal que parte del extremo de la línea de crujía (otra vez la Fig. 41) igual que en el caso de los barcos de vela. De hecho, el ángulo es muy similar, también, siendo

15 grados en la sección maestra una cifra media, que aumenta considerablemente en la proa y disminuye ligeramente en la popa.

En el caso de barcos rápidos, la astilla muerta suele aumentar bastante a favor de una navegación suave con mar gruesa. Ésta se clasificaría como V profunda si la elevación de la carena fuera de 22 grados o más en el centro del barco. En ese caso, la astilla muerta en el espejo raras veces sería menor de 18 grados o así, mientras que en la proa ciertamente sería mayor, pero el pantoque no se elevaría tanto como lo hace en los barcos con menos astilla muerta en el centro.

## Redones

En los barcos con la carena en forma de V pronunciada se produce un interesante fenómeno cuando navegan a gran velocidad. Todos los barcos rápidos se levantan de pleno en el agua cuando su relación velocidad/eslora es superior o similar a 3, al producirse la sustentación dinámica que origina el agua al pasar rápidamente por la carena. La mayoría de las lanchas deportivas de alta velocidad tienen redones a lo largo de la carena que les proporcionan una cierta sustentación y que desvían el agua de las zonas de la carena, que de otro modo estarían mojadas. En el caso de las secciones en forma de V profunda, llega un momento en que la velocidad aumenta y el barco se levanta, y, como consecuencia, una serie de falcas desvían el agua de un modo tan absoluto que la superficie del casco situada encima se mantiene seca. En efecto, esto requiere una nueva manga en la flotación más estrecha que, como mencionábamos en el apartado anterior, es deseable al navegar a gran velocidad.

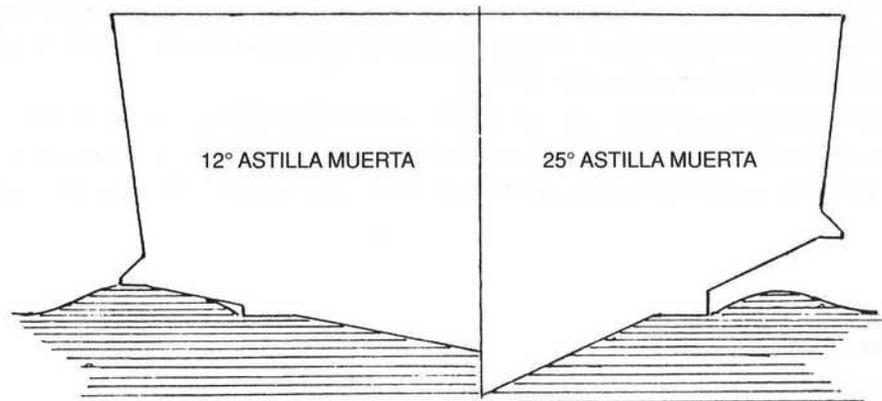


Fig. 43. Los redones hacen que el agua sea desviada del fondo de los cascos en V profunda, aunque por lo general no lo consiguen en los cascos en V abierta.

Algunas veces, evidentemente, el siguiente grupo de redones inferiores puede disminuir para originar una manga todavía más estrecha y así sucesivamente. Normalmente, esto no suele ocurrir en embarcaciones con ángulos de astilla muerta más pequeños, porque el agua desviada por los redones sencillamente vuelve otra vez al casco por encima de éstas (Fig. 43).

Normalmente, los redones tienen forma triangular con las caras del fondo situadas en horizontal. Comienzan en el pantoque en forma de vagras de pantoque, y después van a pares, en los barcos con cascos en forma de V menos acusada, desde un punto situado a popa de la sección maestra hasta lo más cerca posible de la proa, sin que su instalación sea demasiado complicada. En los cascos en forma de V profunda van colocados a lo largo de toda la eslora, aunque cerca de la quilla, donde no tienen posibilidad de formar una nueva manga, pueden acortarse a favor de una reducción de la superficie en contacto con el agua.

Estos redones no son necesarios en embarcaciones de velocidad baja y media, donde pueden tener un escaso valor práctico y únicamente aumentar la superficie mojada.

## Predicción de la velocidad

La Tabla 11 indica las cifras de potencia al freno en bhp (*brake horsepower*) relativas a la eslora de flotación y al desplazamiento de la embarcación. De este modo, por ejemplo, un barco de motor de 20 pies (6,1 m) en la línea de flotación que desplace 1,5 toneladas necesitará 24 bhp para navegar a 9 nudos, siempre que tenga «espejo y popa plana». Traducido a las categorías que estamos tratando, la descripción sería, primero la forma de baja velocidad (popa de canoa), después la forma de velocidad media y, por último, la forma de velocidad alta. Las respuestas serán erróneas si la forma del casco no es del tipo especificado. Éstas son las potencias necesarias para mar en calma, y pueden duplicarse para fines prácticos.

La tabla también puede utilizarse, con cierta precaución, como guía para la potencia del motor auxiliar de los yates a vela. Se puede considerar que los yates tienen más obra muerta que los barcos de motor, debido a los palos y a la jarcia (aunque esto no ocurre en los barcos de motor donde se apilan cubos uno sobre otro formando tambuchos, puentes, mástiles de radar, etc.) y ciertamente tienen más superficie mojada debido a la quilla lastrada.

En lo que respecta a velocidades superiores a las incluidas en la Tabla 11, puede utilizarse la fórmula siguiente:

$$V = 124,7 \times \frac{P^{0,551}}{W^{0,476}}$$

**Tabla 11.** La potencia al freno necesaria para diversas velocidades puede determinarse si se conoce la eslora en la flotación y el desplazamiento.

Tipo de popa	Eslora	Velocidad en nudos												Pantoque en V o casco escalonado				
		Tm	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16	17		
20 pies	0,5	1,0	1,7	2,9	4,7	7,2	10	12	14	17	19	22						
	1,0	1,8	3,6	6,6	10,8	16	20	24	28	33	39	44						
	1,5	2,6	5,7	11	17	24	30	36	43	50	58	67						
	2,0	3,1	8,0	15	22	32	40	48	57	67	77	89						
	3,0	3,7	12	24	33	48	59	72	85	100	116	134						
25 pies	2,0	2,4	5,0	10	17	25	34	42	50	59	68	78						
	3,0	3,0	6,5	15	26	37	48	61	74	88	102	115						
	4,0	4,0	8,7	22	36	50	64	84	100	117	136	155						
	5,0	5,0	12	28	46	65	85	105	125	146	170	196						
30 pies	1,5	1,6	2,9	4,9	7,4	11	15	23	31	37	43	50	57					
	2,0	1,9	3,6	6,4	10,4	15	22	32	42	50	58	67	76					
	3,0	2,5	5,0	9,7	17	26	36	48	62	75	87	100	114					
	4,0	3,0	6,4	13	26	37	51	64	83	100	116	133	152					
	5,0	3,3	7,7	16	32	46	66	80	104	125	145	167	190					
	6,0	3,5	8,8	19	39	56	79	96	125	150	174	200	227					
	8,0	4,0	11	26	51	74	105	128	166	200	232	267	303					
40 pies	4,0	2,8	5,2	8,5	13	20	28	39	53	67	84	97	110	124				
	6,0	3,5	7,0	12	20	34	50	55	89	105	126	144	164	186				
	8,0	4,0	8,4	15	26	47	73	94	119	145	168	193	219	248				
	10,0	4,4	9,9	18	33	61	92	122	149	180	210	242	274	310				
	12,0	4,6	11	21	40	75	110	146	179	217	252	290	329	372				
	14,0	5,0	12	24	46	87	128	170	208	252	294	338	384	434				
	16,0	5,2	13	27	53	100	147	195	238	289	336	387	439	465				
	18,0	5,6	14	30	59	112	165	219	268	325	378	435	494	558				
	20,0	5,9	15	33	66	125	183	244	298	361	420	484	548	620				
50 pies	8,0	4,1	7,2	13	19	28	39	55	74	99	124	150	177	205				
	10,0	4,6	7,9	15	23	35	53	76	100	130	162	193	228	257				
	12,0	5,0	8,8	17	27	42	66	96	122	164	199	243	283	309				
	14,0	5,3	9,6	20	30	49	82	116	155	198	243	286	330	360				
	16,0	5,6	10	21	34	56	98	137	183	234	278	327	376	412				
	18,0	5,8	11	23	38	63	112	168	212	270	313	368	423	463				
	20,0	6,0	12	25	41	70	128	192	248	300	348	408	470	515				
	25,0	6,5	13	30	50	87	164	240	312	375	435	510	588	643				
	30,0	7,0	14	34	57	105	197	288	374	450	522	612	705	775				
	35,0	8,0	15	37	66	123	230	336	437	525	609	715	823	900				

donde V es la velocidad del barco en millas terrestres por hora (no confundir con nudos); W es el desplazamiento en libras, y P la potencia en el eje (alrededor de un 10 por ciento menos que la potencia al freno).

Como ejemplo, tomemos un barco con un desplazamiento de 2.000 libras y una potencia de 150 shp. El cálculo sería entonces:

$$V = 124,7 \times \frac{150^{0,551}}{2.000^{0,476}}$$

Es decir:  $V = 124,7 \times 15,8 / 37,3$ .  $V = 52,8$  mph o  $52,8 \times 5.280 / 6.080 = 45,9$  nudos, siendo 5.280 pies (o 1.609 m) una milla terrestre y 6.080 pies (1.852 m) una milla náutica.

Podemos dar la vuelta a la fórmula para hallar la potencia, si conocemos el desplazamiento y la velocidad necesaria. De este modo:

$$P = \frac{W^{0,551} \times V^{0,476}}{124,7}$$

Incluya la velocidad necesaria (V, en mph) y ya tiene la respuesta.

Existe otra manera de predecir la velocidad en un barco rápido de motor—realmente, existen numerosos métodos alternativos, pero éste es fácil y proporciona respuestas suficientemente buenas para las primeras aproximaciones en un diseño nuevo—. También se indican las predicciones para una forma de casco escalonado, para su interés y para demostrar que la carena convencional de pantoque vivo no es la única forma para barcos de gran velocidad. Enseguida hablaremos un poco más sobre los cascos escalonados.

Como ejemplo del modo de realizar los cálculos, hay que suponer que se necesita potencia para gobernar una embarcación con una eslora de flotación de 30 pies (9,1 m) y 3 ½ toneladas de desplazamiento a 30 nudos. Bhp es la potencia al freno.

$$\text{bhp} = \text{Desplazamiento} \times \frac{V^2}{C^2} \text{ o}$$

$$\text{bhp} = 3,5 \times \frac{30^2}{3,4^2} \text{ que da } 272 \text{ bhp}$$

El valor de «C» en el caso de un barco con una eslora de 30 pies es aproximadamente de 3,4, tal como se indica en el gráfico.

Si se conoce la potencia y la velocidad probable deseada, el método es, en un barco de 25 pies (7,6 m) que desplaza 2 toneladas con 250 bhp:

$$V = C \times \sqrt{\frac{\text{bhp}}{\text{desplazamiento}}} \text{ o}$$

$$V = 3,25 \times \sqrt{\frac{250}{2}} \text{ lo que da como resultado } 36 \text{ nudos}$$

## Cascos escalonados

De los gráficos utilizados para predecir la velocidad, parece desprenderse que los cascos escalonados son más rápidos que los de forma convencional, lo cual es cierto. La Fig. 43b muestra el aspecto de un casco escalonado. Tiene un escalón transversal en la carena situado más o menos en el centro del barco de 3 a 4 pulgadas de profundidad (75-100 mm). El agua al pasar por

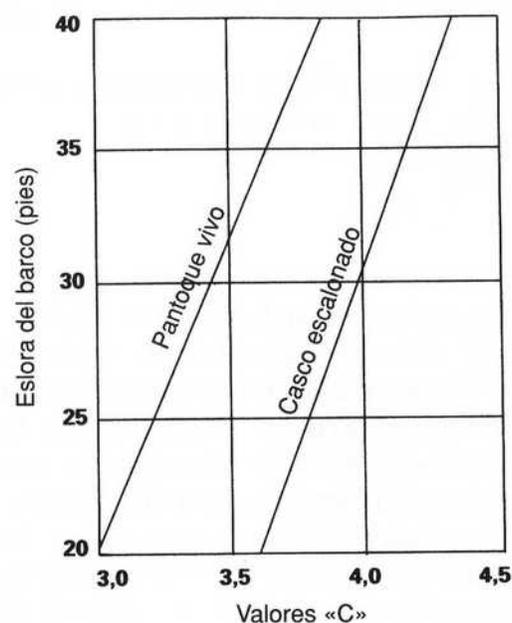


Fig. 43a. Las curvas de predicción de velocidad en las lanchas rápidas se basan en valores *C*: eslora, desplazamiento y bhp (potencia al freno). Se supone que la forma del casco se adapta a la velocidad prevista y que los barcos navegan con relaciones velocidad/eslora 3,0 o superiores. La relación velocidad/eslora es  $V / \sqrt{L}$  y se trató al principio del capítulo sobre diseño de barcos de motor. El método de utilizar los valores «*C*» obtenidos en este gráfico se explica en este apartado.

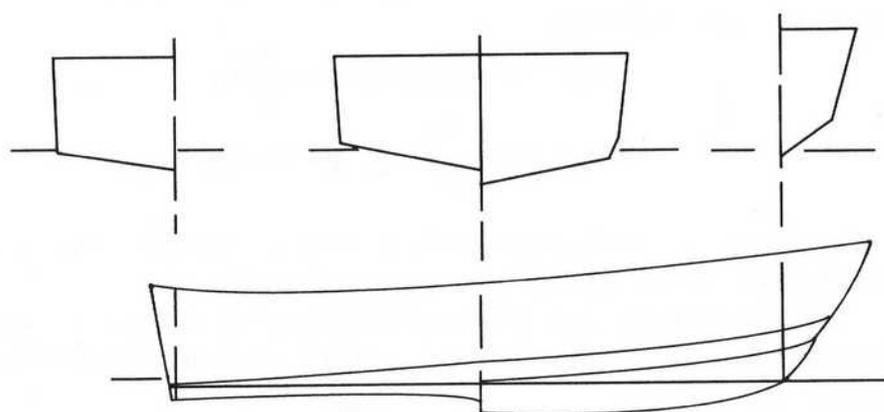


Fig. 43b. Casco escalonado con pantoque doble. El escalón debe soportar alrededor del 90 por ciento del peso del barco y el resto lo soporta el espejo. Esto parece complicado, pero en la práctica sólo significa que los pesos fijos, como los motores, las baterías y demás están repartidos de tal modo que se concentran principalmente en la zona del escalón.

el casco a gran velocidad se separa en el escalón, juntándose de nuevo en la carena en algún punto situado a popa de éste. Entre estas dos zonas, la carena suele estar seca, con la consiguiente disminución de la superficie mojada, y el aumento del potencial de velocidad.

La zona seca de la carena debe estar bien ventilada, por medio de ventiladores naturales, e incluso así, a veces se pueden acumular gases de escape del motor o formarse un semi-vacío detrás del escalón, cuando una ola momentáneamente barre ambos costados. Este tipo de casco no se encuentra muy a gusto navegando a baja velocidad, cuando se originan turbulencias detrás del escalón, y como forma de casco rápido ha sido injustamente desechado mereciéndose que se vuelva a considerar.

En la Primera Guerra Mundial, los MTB de la época eran los CMB (Barcos costeros de motor) de 40 pies (12,2 m) construidos por Thornycroft, que con un desplazamiento aproximado de 4 toneladas y una potencia total de 250 bhp eran capaces de navegar a 34 nudos.

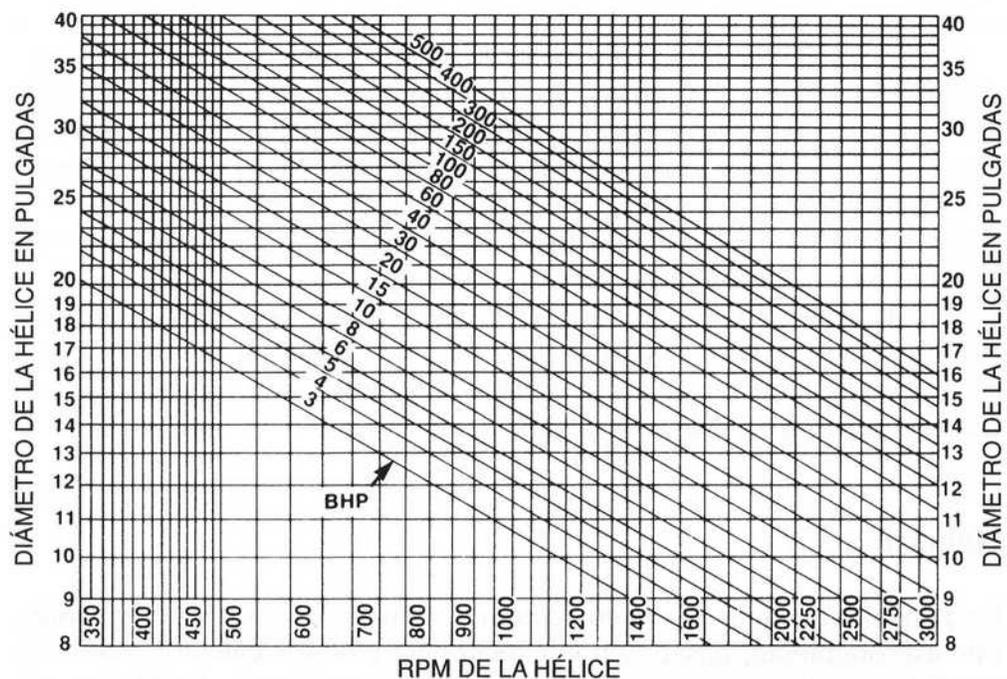
## Hélices

Las personas que mejor pueden aconsejar sobre hélices son los fabricantes. Este asesoramiento, basado en la experiencia y en los cálculos, no le supondrá coste alguno si se lo pide, pero con frecuencia es más útil tener alguna idea sobre el diámetro aproximado cuando comience el proceso de diseño. De este modo, podrá dibujar con toda confianza la abertura para la hélice. El espacio entre el casco y la pala de la hélice debe ser al menos del 20 por ciento del diámetro. Por lo que una hélice con un diámetro de 20 pulgadas necesitará un hueco de 4 pulgadas entre los extremos de las palas y el casco.

Una orientación útil sería la siguiente: la hélice debe girar a una velocidad de entre 80 y 100 rpm por cada milla de velocidad del barco. De aquí que una embarcación diseñada para navegar a 8 mph (6,9 nudos) estaría cómoda y sería eficiente con una hélice que girara a unas 800 rpm. Como veremos, esto implica un diámetro más grande, que obstaculizaría seriamente el avance de un barco de vela con motor auxiliar, pero que sería adecuado en una lancha de motor. No hay que ajustarse demasiado a los datos indicados en dicha guía, pero resultará útil tenerla en cuenta. Por lo general, es más eficaz acelerar una gran columna de agua despacio que una pequeña más rápido.

La Tabla 12 indica los diámetros probables de hélices, basándose en las rpm de la hélice y en la potencia al freno. Por ejemplo, supongamos que tenemos un motor de 20 bhp que desarrolla esta potencia a 2.500 rpm. Las marchas posibles de reducción son 1,5:1, 2:1 y 3:1. ¿Cuáles serían los diámetros de hélice adecuados?

**Tabla 12.** Diámetros de hélice adecuados para diversas potencias de motor asociadas a las rpm de la hélice.

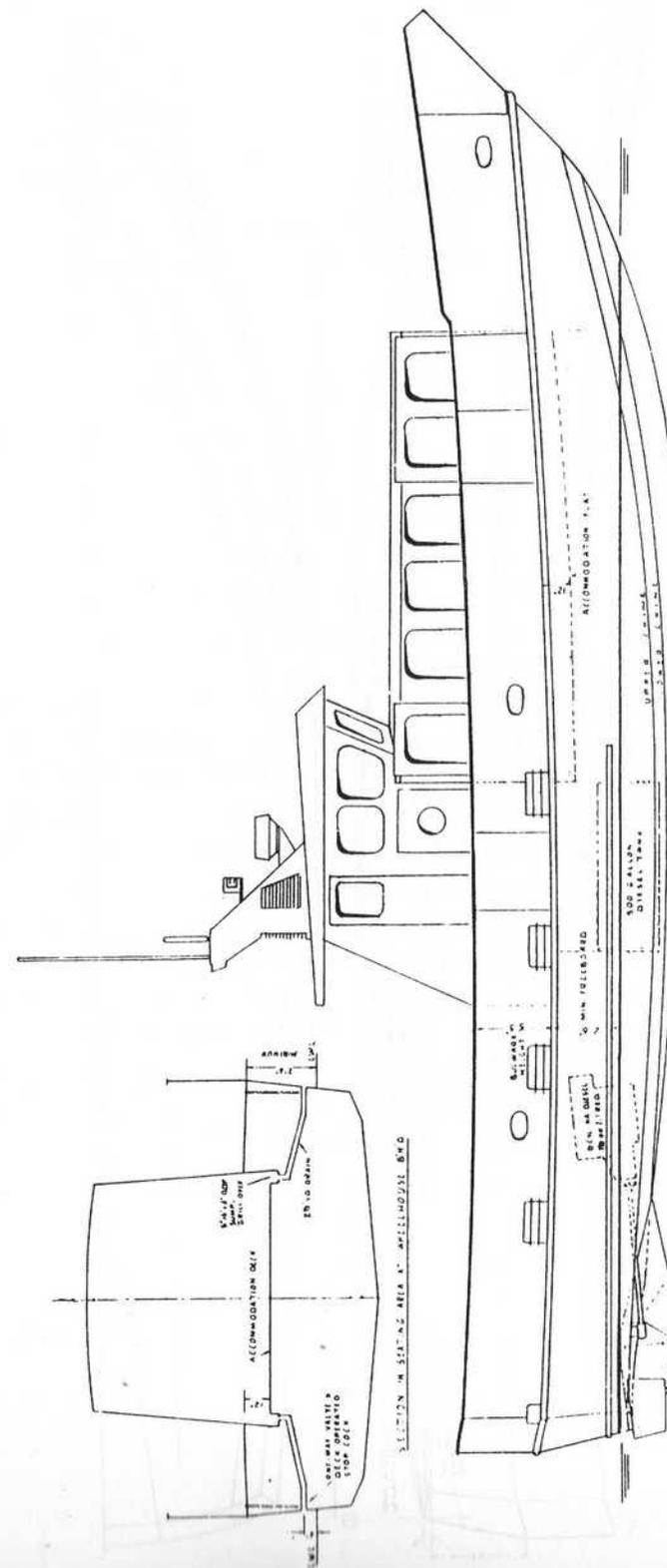


Con una reducción de 1,5:1 la hélice giraría a 1.666 rpm. A 20 hp la tabla indica que 13 pulgadas es un diámetro adecuado. Suponiendo que sea 2:1, la hélice giraría a 1.250 rpm y el diámetro sería de alrededor de 15 pulgadas, y con una reducción de 3:1 y 833 rpm, lo conveniente sería un diámetro de 19 pulgadas. Y así sucesivamente.

La elección del paso asociado a la hélice, que viene dictado por el deslizamiento, las rpm de la hélice y la velocidad del barco, es mejor dejársela a los expertos (es decir, a los fabricantes).

### Popas de túnel

En el caso de barcos de motor con poco calado, puede que sea imposible colgar una hélice decente debajo del casco. Existen dos soluciones posibles. La primera es levantar la carena, como en la Fig. 40, y colocar la hélice en el punto más alto del casco. Esto tiene como desventaja que se pierde bastante flotabilidad en la popa, lo que puede hacer que haya que desplazar el centro de carena demasiado hacia la proa.



**Fig. 44.** Ferry de pasajeros de 60 pies que navegaba en las islas Scilly, la mayoría de las veces en aguas muy poco profundas. Los túneles le permiten llevar hélices de mayor tamaño de lo que sería posible en otro caso.

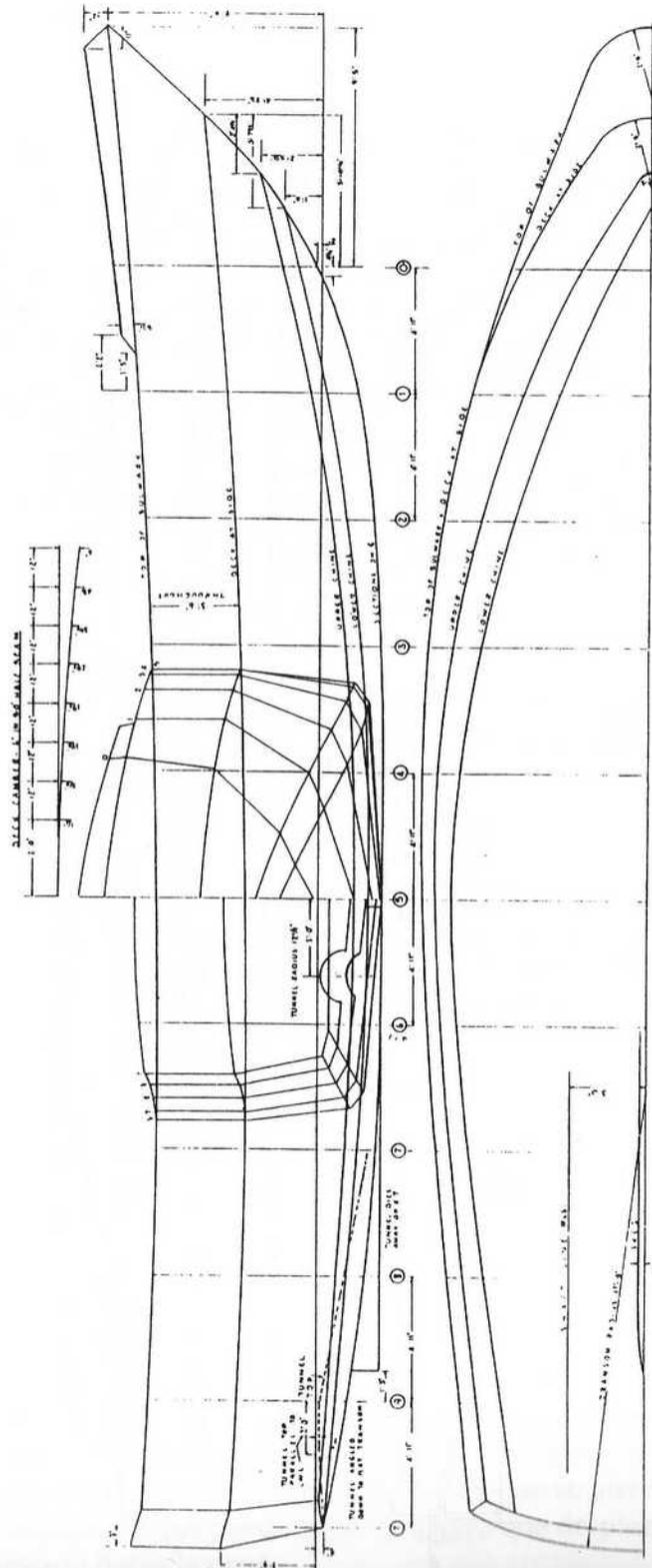


Fig. 45. Plano de formas del ferry con popa de túnel.

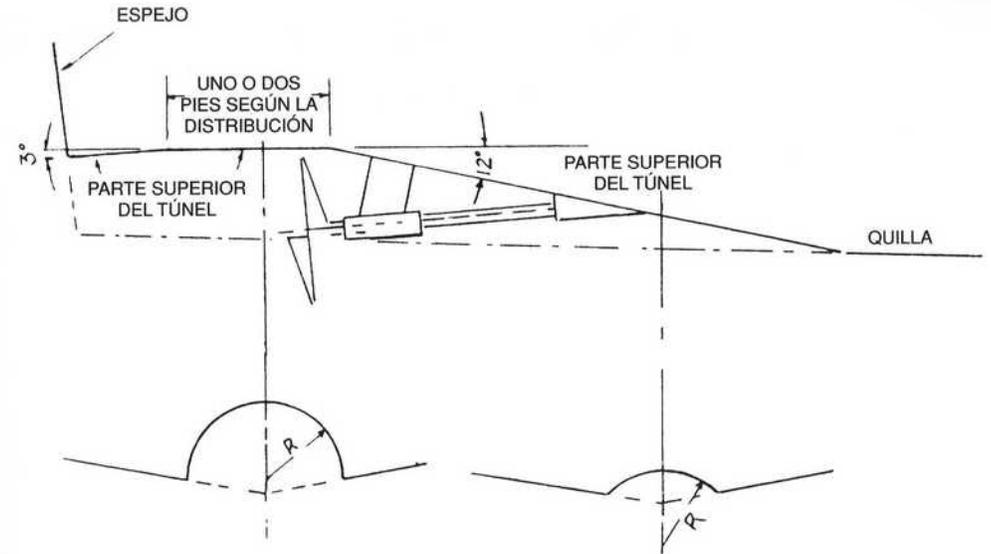


Fig. 46. Forma básica de una popa de túnel.

La alternativa es utilizar una popa de túnel. En este caso, se dibuja una forma de casco normal y se aloja la hélice (o hélices) en túneles parciales encastrados en la carena. Las Figs. 44 y 45 lo muestran en la práctica en un ferry de 60 pies x 18 pies (18,3 m x 5,5 m), en el que su calado a plena carga se limitó a 2 pies y 6 pulgadas (0,8 m). Como puede verse, es un barco de dos hélices. La Fig. 46 muestra la forma básica de un túnel típico que puede colocarse en casi todos los cascos. La hélice, ocasionalmente, debe encajar perfectamente en el túnel, dejando un espacio con el extremo de las palas no mayor de 1 pulgada (25 mm). La parte superior del túnel puede tener la misma altura que la línea de flotación a plena carga, o incluso algo más, pero su salida debe estar debajo del agua, pues, de otro modo, la hélice chupará aire y agua al dar marcha atrás, con efectos notorios sobre el rendimiento.

## 5. Resistencia, planos vélicos y equilibrio del casco

---

En el Capítulo 4 veíamos que los barcos originan olas que frenan su potencia al desplazarse a través del agua. Ese capítulo trataba, principalmente, de velocidades superiores a la velocidad de desplazamiento, que, para refrescar su memoria, se forman cuando un barco navega con una relación velocidad/eslora de 1,34. Pero la formación de olas se produce a cualquier velocidad, y su resistencia al movimiento se denomina formación de olas o resistencia residual. El otro componente de la resistencia total es la resistencia a la fricción, que se origina por el rozamiento del agua con el casco y con todos sus apéndices, como timones, quillas, orzas, hélices, ejes y demás.

### Resistencia

Lo que se indica a continuación puede parecerle bastante rimbombante, pero tiene implicaciones prácticas que revelaremos en los próximos apartados.

La Fig. 47 muestra las curvas de resistencia de un barco de motor típico. Las curvas de un velero con orza tendrían una forma similar, pero un yate de quilla profunda tendría mayor componente de rozamiento. Veremos que la proporción de resistencia total que representa la resistencia a la fricción y la resistencia residual (formación de olas) depende de la relación velocidad/eslora. Inicialmente, la resistencia a la fricción es la que absorbe más potencia,

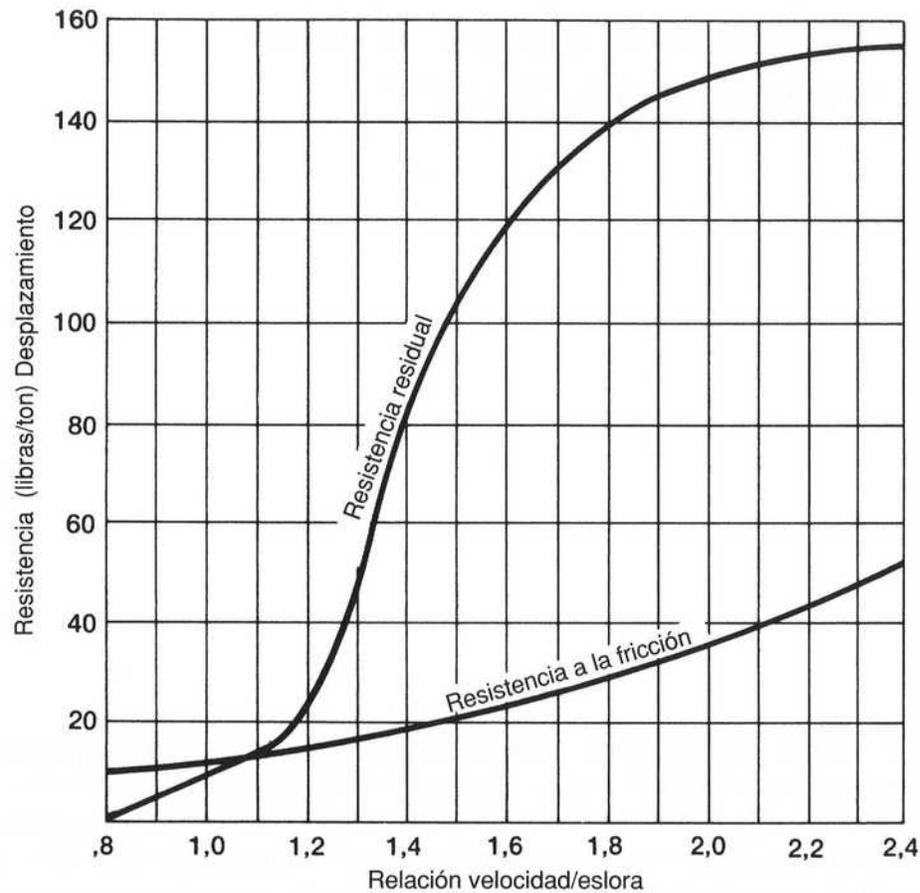


Fig. 47. Curvas de resistencia de un barco que navega con una relación velocidad/eslora de hasta 2,4. Incluye la mayoría de los tipos de barcos de vela y algunos de motor, en particular los barcos comerciales.

pero con una relación velocidad/eslora de alrededor de 1,05 sus efectos son iguales, y por encima de dicha relación la formación de olas se convierte en la característica dominante. La resistencia se indica en libras por tonelada de desplazamiento, y puede convertirse en potencia empleando la fórmula  $BHP = 2 \times R \times V / 550$ , donde R es la resistencia en libras y V la velocidad del barco en pies por segundo. Para obtener los pies por segundo hay que multiplicar los nudos por 1,68. De este modo, 8 nudos serían  $8 \times 1,68$ , o 13,44 pies por segundo.

Contemplando esas curvas, la resistencia total con una relación velocidad/eslora de 0,8 (4 nudos en un barco de 25 pies) es de alrededor de 9 libras la resistencia a la fricción y de 2 libras la de formación de olas o resistencia residual. El total completo sería, entonces, 11 libras por tonelada, y si

el desplazamiento del barco fuera de 5 toneladas, la resistencia total sería de  $11 \times 5 = 55$  libras. Lo que traducido a potencia al freno sería:

$$BHP = \frac{2 \times 55 \times 4 \times 1,68}{550} = 1,34$$

donde « $4 \times 1,68$ » es para convertir los 4 nudos a pies por segundo.

Con una relación velocidad/eslora de 1,4 (aproximadamente la velocidad del casco de nuestro barco de 25 pies a 8 nudos), la resistencia a la fricción sería de 19 libras/tonelada, y la residual de alrededor de 80 lb/tonelada. Sumando estas cifras obtenemos 99 libras/tonelada o  $99 \times 5 = 495$  libras, en el caso de un barco de 5 toneladas. Por lo que:

$$BHP = \frac{2 \times 495 \times 7 \times 1,68}{550} = 21,2$$

Así, para obtener un modesto aumento de 3 nudos en la velocidad, las necesidades de potencia han aumentado casi 16 veces. Éstas son, evidentemente, cifras en navegación por aguas tranquilas.

La eslora desempeña, claramente, un papel fundamental en la resistencia y en las necesidades de potencia subsiguientes. Con la misma relación velocidad/eslora, barcos de forma similar tendrán más o menos la misma resistencia por tonelada de desplazamiento. Es decir, un barco de 25 pies que navegue a 5 nudos, uno de 49 pies que se desplace a 7 nudos y un barco de 81 pies de eslora en la flotación a 9 nudos, necesitarán la misma potencia por tonelada de desplazamiento, aunque la velocidad casi se haya duplicado.

Cuando pensemos en el modo de obtener el mejor rendimiento del tamaño del barco que estamos considerando, no podemos hacer mucho para reducir la resistencia a la fricción en la fase de diseño. La forma que proporciona menos superficie mojada para un determinado desplazamiento es el arco de círculo, pero no es una forma práctica para las secciones. Quizás sea así en los multicascos, en los que el balanceo y la escora están controlados por la presencia de los dos cascos. Un pantoque vivo puede ayudar, ligeramente, a los barcos de motor, incluso con estas relaciones velocidad/eslora tan bajas, y resulta acertado mantener la longitud del eje que sobresale de la hélice lo más corta posible, aunque realmente lo mejor es centrarnos en la formación de las olas. En este aspecto, podemos influir bastante en el resultado dibujando un casco en el que la distribución del desplazamiento en la proa y en la popa se adapte mejor a la posible relación velocidad/eslora. Esto se hace siguiendo las directrices de lo que se conoce como coeficiente prismático.

### Coefficiente prismático

Es la relación entre el volumen sumergido y la superficie de la sección maestra, multiplicada por la eslora en la flotación. Un  $C_p$  (coeficiente prismático) adecuado indica una sección maestra grande, lo que hace que el desplazamiento esté concentrado alrededor del centro del barco. Un  $C_p$  grande, por otra parte, sugiere una sección maestra pequeña y extremos voluminosos. La fórmula es:

$$C_p = \frac{\text{Desplazamiento} \times 35}{L \times A_m}$$

en la que el desplazamiento se indica en toneladas que el factor multiplicador, 35, convierte en pies cúbicos; L es la eslora en la flotación, en pies, y  $A_m$  la superficie de la sección maestra (*area of the midships*) por debajo de la línea de flotación, en pies cúbicos. Al igual que en las demás fórmulas, las medidas anglosajonas pueden sustituirse por unidades métricas con el mismo resultado.

Como ejemplo, podríamos hallar el cálculo del ferry de pasajeros de 60 pies de las Figs. 44 y 45. Su desplazamiento es de 32 toneladas, la eslora en la flotación, de 49,2 pies y la superficie de la sección maestra, 37,2 pies cuadrados. Sustituimos estas cifras en la fórmula:

$$C_p = \frac{32 \times 35}{49,2 \times 37,2}$$

$$C_p = 0,61$$

La velocidad del proyecto en servicio es de 40 nudos aproximadamente, lo que nos da una relación velocidad/eslora de 1,4.

En la Fig. 48 se indica el coeficiente prismático ideal con diferentes relaciones velocidad/eslora; vemos que, en el caso del ferry y para una relación de 1,4, el  $C_p$  ideal sería de 0,63, por lo que, teniendo en cuenta las numerosas limitaciones de tipo práctico inherentes a un buque comercial de poco calado, nuestra cifra de 0,61 no es demasiado desacertada.

Que intentar lograr el mejor coeficiente prismático no es únicamente un ejercicio de habilidad se manifiesta por las pruebas llevadas a cabo en cuatro barcos de pesca de 65 pies (19,8 m), en la Tabla 13. Todos ellos, excepto el tipo *Admiralty MFV*, tenían un desplazamiento de alrededor de 71 toneladas, y con una eslora en la flotación de 62 pies y una velocidad de 9 nudos, su relación velocidad/eslora era de 1,14. Echando una ojeada a la Fig. 48, vemos que el  $C_p$  ideal para esta relación sería aproximadamente de 0,54, que de hecho es la que tenía el *Silver Searcher*. Esto le permitía alcanzar 9 nudos con sólo 75 bhp. Los demás necesitaban más de 100 bhp para conseguir la misma velocidad, y dos de ellos bastante más.

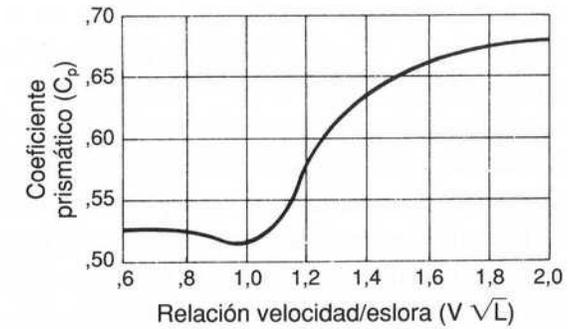


Fig. 48. Coeficientes prismáticos óptimos con diferentes relaciones velocidad/eslora.

También se habrá dado cuenta de que el bajo coeficiente prismático del *Silver Searcher* ha hecho que tenga un medio ángulo de afinamiento o de finos de proa en la línea de flotación de 9 grados, en comparación con el ángulo de los otros de más de 20 grados. Este ángulo es el que forma la línea de flotación a plena carga con la línea de crujía por su extremo de proa; medio ángulo, porque el ángulo se mide sólo por un costado. La Tabla 14 indica los medios ángulos de afinamiento, o de finos de proa, deseables en el caso de diferentes relaciones velocidad/eslora.

Tabla 13. Detalles de cuatro barcos de pesca similares evaluados entre sí. Desde el punto de vista de la eficiencia del casco, el *Silver Searcher* es el ganador con un coeficiente prismático bajo y un medio ángulo de afinamiento pequeño.

Características	MFV de	Diseño original de G. L. Watson	Silver Scout	Silver Searcher
	65 pies tipo Admiralty		Diseño modificado de G. L. Watson	Diseño de Herring
Eslora total	64 pies y 6 pulgadas	65 pies y 0 pulgadas	65 pies y 0 pulgadas	65 pies y 0 pulgadas
Eslora en la flotación	60 pies y 0 pulgadas	62 pies y 0 pulgadas	62 pies y 0 pulgadas	62 pies y 0 pulgadas
Manga máxima	17 pies y 10 pulgadas	17 pies y 10 pulgadas	17 pies y 10 pulgadas	17 pies y 10 pulgadas
Calado de proa	4 pies y 3 pulgadas	4 pies y 9 pulgadas	4 pies y 9 pulgadas	5 pies y 8½ pulgadas
Calado de popa	7 pies y 0 pulgadas	7 pies y 3 pulgadas	7 pies y 3 pulgadas	7 pies y 2½ pulgadas
Desplazamiento	50 toneladas	71 toneladas	71 toneladas	71,5 toneladas
Coefficiente de bloque	0,35	0,383	0,378	0,359
Coef. prismático	0,62	0,645	0,612	0,537
Coefic. en la secc. maestra	0,56	0,594	0,617	0,675
Bhp para 9 nudos	120	123	105	75
½ ángulo de afinamiento en la flotación	23 grados	26 grados	21 grados	9 grados

El coeficiente prismático es igual de grande en los veleros que en los barcos de motor. Se calcula que un yate de crucero navega, como media, con una relación velocidad/eslora de 1,0 a 1,15, mientras que un barco más orien-

tado a regatas puede aumentar estas relaciones hasta 1,25 o 1,35. Estas cifras sugerirían coeficientes prismáticos de alrededor de 0,53 a 0,55 y de 0,58 a 0,63, respectivamente. Un compromiso adecuado sería un coeficiente de 0,58. Esto estaría muy bien si todos los yates tuvieran cascos de popa noruega y quillas de aleta estándar, pero las quillas pueden ser largas o cortas, gruesas o delgadas, más o menos profundas, o cualquier combinación entre éstas. Esto tiene un efecto perturbador en la fórmula. Sin embargo, contamos con ayuda, pues un arquitecto naval americano, J. E. Paris, ha desarrollado, a partir de un estudio realizado sobre muchos diseños, una curva que indica la mejor relación entre el coeficiente prismático y lo que se denomina coeficiente de plano lateral.

**Tabla 14.** Medios ángulos de afinamiento indicados con diferentes relaciones velocidad/eslora.

Relación velocidad/eslora	Medio ángulo de afinamiento (grados)
0,5	30
0,6	26
0,7	22
0,8	18
0,9	14
1,0 a 2,0	10

Este coeficiente es la relación entre el plano lateral de perfil (incluyendo el timón, que no sea el timón de pala colgada que se utiliza poco, pero sin incluir las orzas) y el rectángulo que lo circunscribe. Este último es la eslora en la flotación multiplicada por el calado máximo.

Volviendo al velero de paseo de 20 pies (Fig. 22), su superficie de plano lateral es de 33 pies cuadrados; la eslora en la flotación, 17 pies, y el calado máximo, 3,5 pies. Resuelva la fórmula siguiente; en la que  $C_{lp}$  es el coeficiente de plano lateral.

$$C_{lp} = \frac{33}{17 \times 3,5}$$

$$C_{lp} = 0,55$$

Una aproximación a la curva de Paris se muestra en la Fig. 49; de ese modo, lo que necesitamos ahora es el coeficiente prismático del velero de 20 pies.

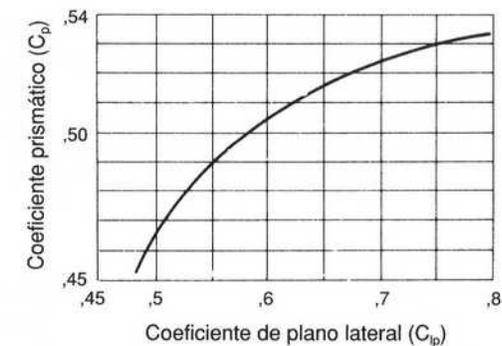


Fig. 49. Coeficientes prismáticos deseables trazados frente a los coeficientes de plano lateral.

Éste se halla de manera muy fácil. Su desplazamiento es de 1,19 toneladas; la eslora en la flotación, 17 pies, y la superficie sumergida de la sección maestra, 4,86 pies cuadrados.

$$C_p = \frac{1,19 \times 35}{17 \times 4,86}$$

$$C_p = 0,5$$

Evidentemente, el área de la sección maestra puede tomarse directamente del cálculo sobre el desplazamiento corregido para la escala, si es necesario, y duplicado únicamente cuando se hayan utilizado medias áreas.

Volvamos a la curva de Paris para los coeficientes prismáticos y de plano lateral, que indica que para un  $C_{lp}$  de 0,55, el  $C_p$  óptimo sería de alrededor de 0,49. Dado que el nuestro era de 0,5, podemos considerarlo satisfactorio.

Justo antes de embarcarnos en otra consideración más sobre la forma del casco, la del equilibrio cuando está escorado, puede ser un descanso para usted echar una breve, y posiblemente problemática, ojeada al aparejo de los yates.

### El aparejo

No pediremos excusas por el hecho de que los diferentes planos vélicos que aparecen en el libro sean un poco anticuados para los gustos de hoy en día. Aparejos cangrejos, de vela al tercio, de vela guaira, y no un único modelo del omnipresente aparejo Marconi o de mayor triangular. Para ver estos barcos,

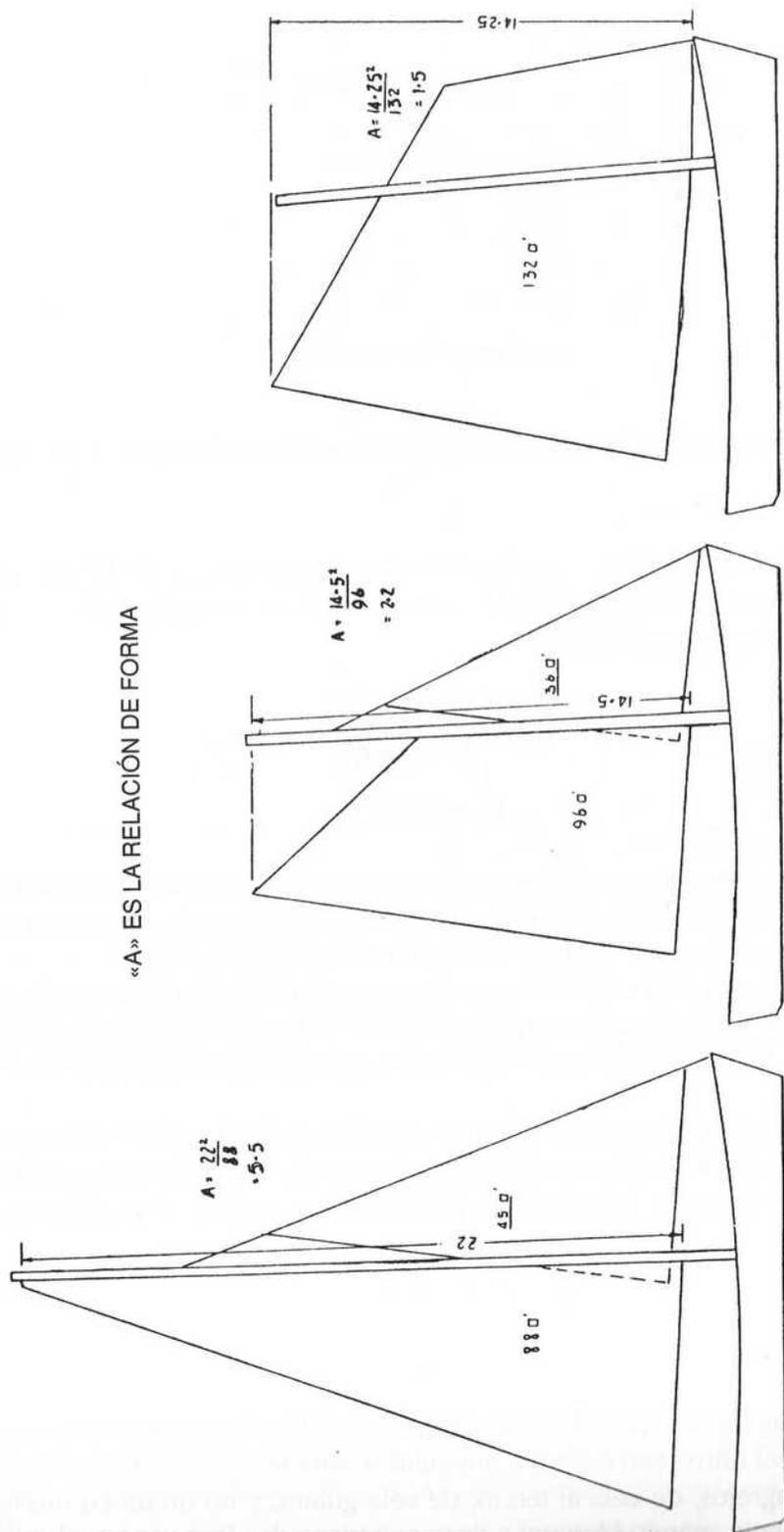


Fig. 50. Tres aparejos diferentes con la misma superficie pero con distintas relaciones de formas. El croquis de la derecha, dibujado a mano, muestra un aparejo de vela al tercio.

todo lo que tiene que hacer es echar un vistazo al puerto más cercano. Allí los hay a cientos, con sus palos y aparejos de alta tecnología. Y, aun así, ¿está justificada esta concentración de un solo modelo?

Los aparejos con alta relación de forma son eficientes para navegar en ceñida, y, dentro de lo razonable, cuanto más alta sea la relación, mejor. La relación de forma es el resultado de dividir la longitud del grátil de la vela, elevada al cuadrado, por la superficie vélica; la Fig. 50 muestra la relación de forma de varios aparejos. Pero las pruebas de navegación a vela realizadas en embarcaciones a tamaño real y los ensayos en túnel de viento parecen mostrar que, mientras que una relación de forma elevada es beneficiosa cuando la embarcación navega en ceñida con las escotas cazadas, se vuelve mucho menos importante cuando arriba y se largan las escotas. Con la botavara abierta alrededor de 35 grados con la línea de crujía, una relación de forma tan pequeña como 1 es bastante aceptable. Esta cifra puede alcanzarse con aparejos cangrejos, de vela tarquina y de vela al tercio.

¿Hay que elegir un aparejo basándose únicamente en su mejor rendimiento al ceñir, dejando de lado su complejidad, su coste y, nos atrevemos a decir, su aspecto poco agraciado? Sea por lo que sea, hay embarcaciones en las que los aparejos con relación de forma elevada están casi siempre justificados, y estas embarcaciones son los «correcaminos» de este mundillo: los multicascos de regata, algunos barcos ligeros, los vehículos con vela\*, y cualquier artilugio que tenga pretensiones de alcanzar una auténtica velocidad de relámpago. Estas embarcaciones llevan el viento hacia la proa y aumentan su fuerza aparente en muchos rumbos, por lo que, a todos los fines, ganan barlovento cuando sus hermanos más tranquilos todavía están zanganando en monótonos traveses.

La Fig. 51 lo representa en forma de diagrama. Imaginemos que un barco está navegando con una brisa de 18 nudos que sopla a proa del través. Si estuviera haciendo 6 nudos, el viento aparente estaría algo más a proa y soplaría a unos 20,5 nudos. Si pudiera correr un poco más y alcanzar los 15 nudos con esta brisa, el viento aparente rolaría aún más a proa, a una velocidad de 26,5 nudos. Si su velocidad aumenta a 20 nudos, un viento de 30,25 formarían un ángulo de 45 grados con la proa. Por lo que algunas embarcaciones especiales pueden navegar realmente más rápido que el viento real, y al llevar el viento hacia adelante, pasan gran parte de su vida navegando en ceñida. En estos barcos, una relación de forma de más de 7 está bien. De modo más general, una relación de entre 5 y 5,5 en aparejos Marconi es un compromiso adecuado entre las conflictivas exigencias del rendimiento y los aparejos de precio razonable, con palos provistos de estays y obenques.

\* Vehículos de estructura tubular y tres ruedas (o patines) equipados con una vela que se utilizan en playas extensas durante la marea baja (o sobre hielo) (N. de la T.).

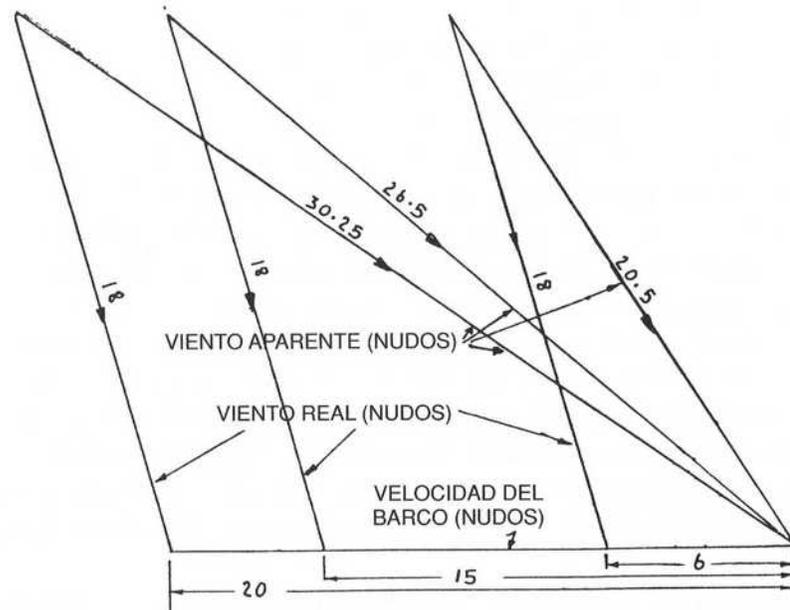


Fig. 51. *Cuanto más rápido puede navegar un barco respecto de la velocidad del viento más empujará el viento hacia la proa.*

Si el lector está diseñando un barco sólo para su disfrute, sin pensar en éxitos comerciales en los que la costumbre y las convenciones sean lo primordial, no tema experimentar con el aparejo. Mientras el casco tenga una forma corriente y el empuje del centro vélico sobre el centro de deriva se ajuste vagamente al recomendado en el Capítulo 3, incluso el más extraño de los aparejos producirá unos resultados razonables. Y todavía hay más caminos por explorar. El alabeo en una vela en la que la parte superior se inclina hacia sotavento disminuye su eficiencia considerablemente en comparación con el bien controlado pujamen (envergado en una botavara o similar). Este alabeo, aunque por lo general no es demasiado nefasto, es difícil de solucionar en una vela Marconi. Sin embargo, en las velas cangrejas el alabeo normalmente es mucho peor, lo que se debe, en parte, a su inferior rendimiento navegando en ceñida, aunque teóricamente es más fácil de controlar. Una osta que vaya desde el pico de la mayor cangreja hasta el palo de mesana puede solucionar el problema, con una alternativa de ostas a babor y a estribor hasta las alatas del barco. Si consigue eliminar completamente este alabeo, los aparejos cangrejos y de vela al tercio podrían ser más eficientes que el aparejo Marconi, incluso en ceñida.

Tras considerar un aspecto de la forma del casco y el coeficiente prismático, con una incursión en los planos vélicos, podemos volver de nuevo nuestra atención hacia los cascos y su reacción ante las fuerzas de escora originadas por las velas.

### Equilibrio del casco

En el Capítulo 3 se hacían recomendaciones en relación con el «avance» del centro vélico (CE) sobre el centro de deriva (CLR). Se colocó el CE a cierta distancia delante del CLR, lo que en la práctica es correcto. Pero si el barco gira alrededor de su CLR y el empuje de las velas se produce a través del CE, colocando el CE delante del CLR se produciría un indeseable efecto de arribada en el barco, cuya proa tendería a alejarse constantemente del viento (Fig. 52); únicamente arriando la parte alta de la vela, por ejemplo, se conseguiría el efecto más preferible de barco ardiente, con tendencia a orzar.

En la práctica, pues, debe desplazarse el CLR hacia adelante de su posición teóricamente supuesta, hasta situarlo delante del CE. Esto se produce automáticamente en la gran mayoría de los barcos, debido a la concentración de presión del agua cerca de la parte de sotavento de la proa cuando navegan a vela. El fenómeno puede ser exagerado en embarcaciones de proa llena, en las que el avance normal del CE sobre el CLR puede aumentarse de forma útil por medio de la compensación.

Un barco es más seguro, vira con más rapidez y tiene una mejor disposición para ceñir si es ligeramente ardiente (cuando la proa tiende a acercarse al viento). Es más seguro, porque si se produce una emergencia y la caña

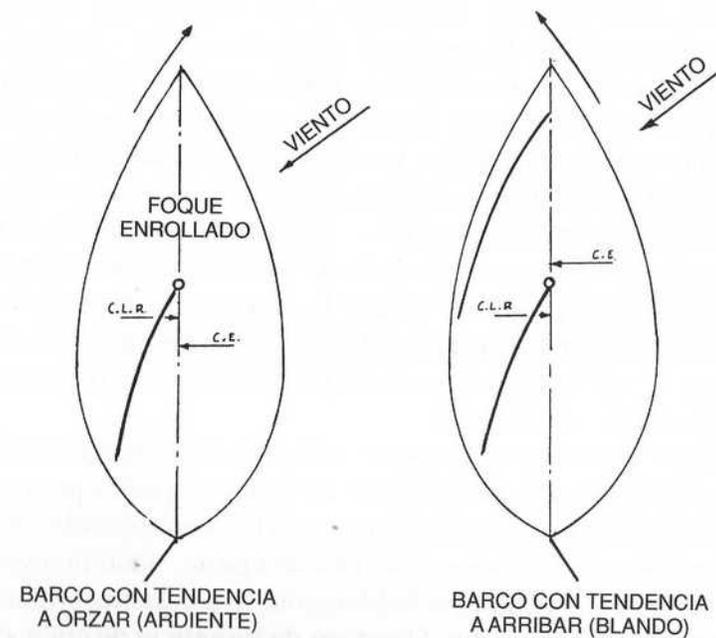


Fig. 52. *En la práctica, a pesar de la diferente colocación al planificar la disposición de las velas, el centro vélico (CE) debe estar situado a popa del CLR, pues de otro modo el barco tendrá tendencia a arribar.*

o la rueda quedan abandonadas, el barco se aproa al viento y se para. Vira mejor porque su inclinación natural es comenzar la maniobra que la tripulación sólo tiene que terminar. Podemos explicar su mejor rendimiento del modo siguiente: imagínese que el lado de barlovento está a estribor; si el barco es ardiente significa que la pala del timón está a babor, como en la Fig. 52, manteniendo el barco en una derrota recta y disuadiendo a la proa de inclinarse a favor del viento; la presión del agua sobre la pala inclinada originará una deriva lateral hacia estribor que se opone al abatimiento.

Al escorar, los yates suelen introducir las aletas de popa, de gran flotabilidad, en el agua; pero no ocurre lo mismo con la proa, que es más estrecha. El resultado es que el barco cala más por la proa y se levanta hacia el viento. En algunos barcos con una diferencia de forma exagerada entre la proa y la popa, este comportamiento de meter la proa es bastante drástico y ocasiona una tendencia a orzar incontrolable. Incluso puede que el timón se levante tanto a causa de este efecto, que llegue a ser más o menos ineficaz para controlar la situación. Obviamente, esto no es recomendable, y la posibilidad de que se produzca puede calcularse realizando lo que se denomina el análisis de Rayner.

En las secciones de la embarcación están dibujadas líneas de agua escoradas, inclinadas unos 15 grados, como en la Fig. 53. En este caso se han dibujado en las versiones de pantoque redondo y de pantoque vivo del velero de paseo de 20 pies (Figs. 22 y 33). Las superficies de las cuñas sumergidas («in») y las que emergen («out») se miden para cada sección. Las cifras de la ordenada 5 son, sólo como ejemplo, 1,93 pies cuadrados y 0,825 pies cuadrados, respectivamente, en la versión de pantoque vivo y 1,74 pies cuadrados «sumergidos» y 1,22 pies cuadrados «emergentes» en el modelo de pantoque redondo. Después se restan las superficies de las «emergentes» de las superficies de las cuñas «sumergidas» y se trazan los resultados a la escala adecuada a partir de una línea base. Así, en el barco de pantoque vivo, el punto en la ordenada 5 estará  $1,93 - 0,825 = 1,105$  hacia fuera de la base. Y así sucesivamente. Se dibuja una curva que una todos los puntos obtenidos y el resultado se analiza por posibles excesos de superficie a popa de la ordenada de la sección maestra. La mayoría de los barcos mostrarán una mayor superficie a popa, y cuanto mayor sea este desequilibrio más desinhibido será el «levantamiento» hacia barlovento.

Veremos que, en nuestros ejemplos, el barco de pantoque redondo de popa noruega muestra poca diferencia en las zonas situadas a proa y popa de la sección maestra. Por esta razón, el barco está bien equilibrado y es fácil de gobernar. El modelo de pantoque vivo, por otra parte, tiene un exceso considerable de superficie a popa y probablemente será bastante ardiente, especialmente, cuando escore mucho. El exceso de superficie de cuña «sumergida» se concentra alrededor de la ordenada 5, no lejos del centro del barco hacia la popa. Si hubiera estado situada más hacia la popa, aumentaría la tendencia a orzar.

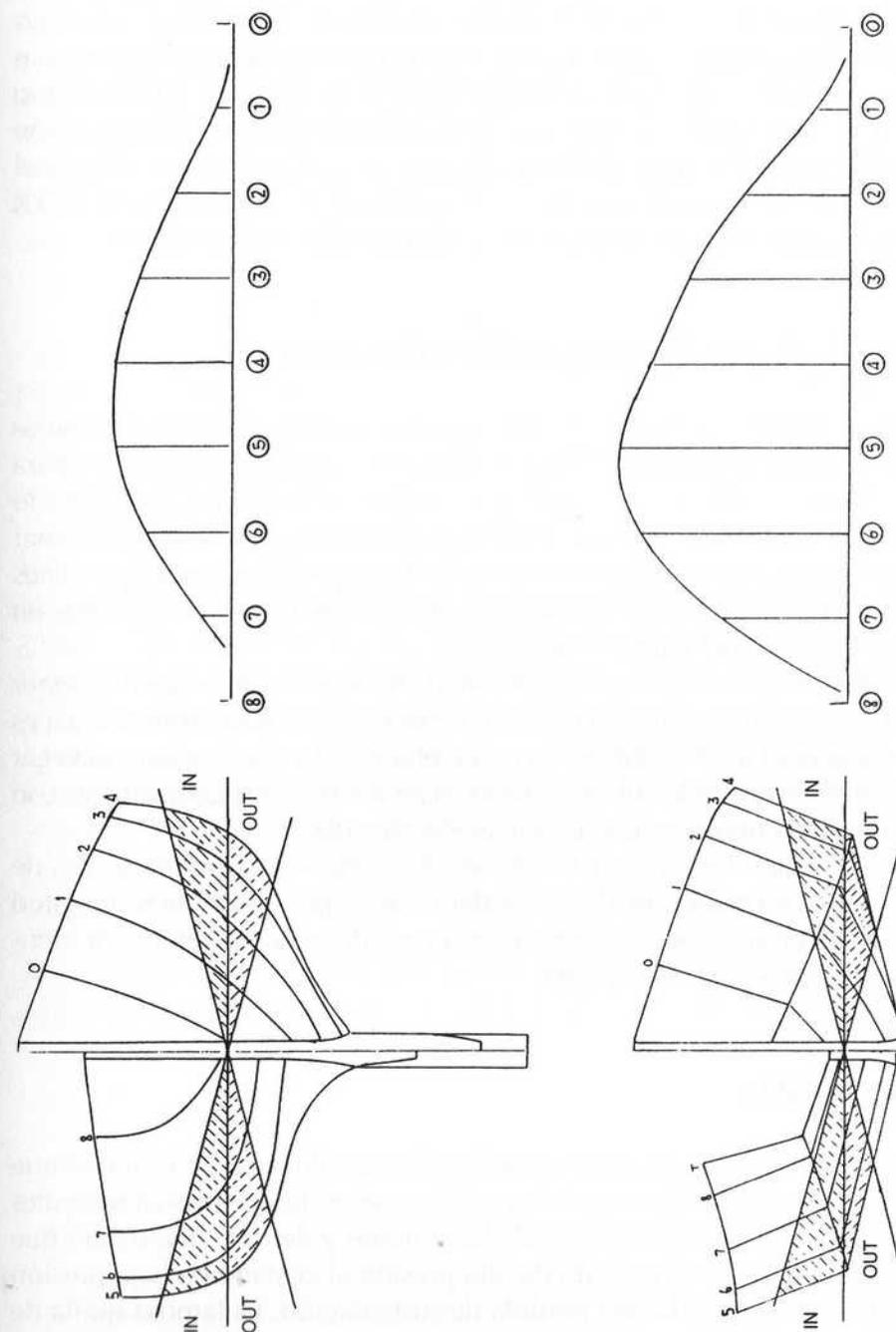


Fig. 53. Análisis de Rayner sobre el equilibrio del casco, llevado a cabo para las versiones de pantoque vivo y pantoque redondo del velero de paseo de 20 pies.

Una ojeada a las dos series de secciones le indicará lo que tiene que hacer para aproximar el modelo de pantoque vivo a las reglas de equilibrio del pantoque redondo; pero no se esfuerce demasiado en conseguir lo que sobre el papel podría parecer un casco perfectamente equilibrado. Cierta tendencia a orzar es deseable, si bien, ocasionalmente, entran en juego factores que afectan al equilibrio y que no aparecen en los planos o en los cálculos. Como último recurso frente a un casco horriblemente desequilibrado, puede ser una solución aumentar bastante el tamaño del timón. Esto no sólo proporcionará al timonel una mayor palanca para controlar las travesuras del barco, sino que llevará el CLR más hacia la popa, lo que normalmente resulta deseable en esos casos.

### Relación de forma de los apéndices del casco

Especialmente en lo que respecta a la disposición para ceñir, la «sustentación» de la quilla, la orza e, incluso, el timón son factores importantes para lograr un buen rendimiento, y cuanto más sustentación tengan, mejor. Por lo que respecta a este elemento de la navegación a vela, conviene aprovechar el hecho de que si tenemos en cuenta todas las superficies, estos apéndices del casco son más eficientes si tienen una relación de forma elevada, que en este caso es calado del casco<sup>2</sup> / superficie.

El factor limitador es la practicabilidad. Aunque sería estupendo tener una orza, por ejemplo, con una relación de forma de 6, una estructura así es bastante propensa a sufrir daños. En una embarcación prevista para navegar en aguas profundas puede que no se produzcan daños, y se puede dibujar con plena conciencia una orza con una relación elevada.

Lo ideal es que las aletas, los timones, las orzas e incluso las quillas de balance tengan un grosor de alrededor del 12 al 15 por ciento de su longitud medida desde proa a popa; su anchura máxima debería ser del 30 por ciento de la longitud a partir de la roda.

### Quillas con alas

Básicamente, las alas consisten en planchas planas colocadas de tal forma que sobresalen de las caras inferiores de las quillas; a veces también están presentes en las partes superiores e inferiores de los timones y demás. Sirven para que el agua no entre desde el costado de alta presión al costado de baja presión de la estructura, causando una pérdida de sustentación. La famosa quilla de alas del barco australiano ganador de la Copa América era una quilla con alas. Su forma también hizo posible que fuera utilizada como lastre, concentrando así el peso muy hacia abajo. Pero las alas en las quillas resultan bastante vulnerables en los barcos que varan.

### Las hélices en los barcos a vela

En el Capítulo 4 se daban ciertas recomendaciones sobre los diámetros de las hélices, que pueden resumirse diciendo que siempre conviene (desde el punto de vista del aprovechamiento eficaz de la potencia) utilizar la hélice más grande y lenta que podamos. En cierta medida, esta máxima se modifica para tener en cuenta la velocidad del barco, tal como se trataba en dicho capítulo. Sin embargo, en los barcos de vela, las hélices son un tema especial, pues arrastrar una hélice grande, diseñada exclusivamente para lograr una propulsión eficaz, puede originar una pérdida de rendimiento inaceptable al navegar a vela.

Esto es un dilema. Instalar una hélice demasiado pequeña puede significar que durante una emergencia (justo cuando más se necesita aprovechar mejor la potencia), la hélice puede hacer poco más que golpear el agua haciendo espuma. Probablemente, la solución más aceptable sería elegir una hélice con un diámetro que se adapte al motor, equipada con una caja de cambios de transmisión directa, y olvídense del engranaje reductor. La pérdida de velocidad de navegación que origina el hecho de ir arrastrando la hélice puede ser de alrededor del 5 por ciento. Esta disminución significa una comparación negativa con la reducción de 0,1 que puede esperarse de una hélice plegable situada en la línea de crujía. Pero, a menos que tenga la seguridad de que nunca va a necesitar el motor más que para maniobrar en aguas tranquilas, debe aceptar lo inevitable.

Hablando claro, una hélice tripala tiene mejor rendimiento para propulsar un yate comparativamente pesado (pesado, debido a su quilla lastrada) que una hélice bipala, aunque esta última origina menos resistencia; la colocación en la crujía es menos problemática que la colocación desplazada; y una de tipo plegable algo menos que una hélice muy delgada. A menos que se pueda instalar una caja de cambios con eje inversor de giro excepcionalmente libre —que permita al eje girar a unas 100 rpm—, por lo general, al navegar a vela es mejor utilizar un freno de eje para tener una menor resistencia.

## 6. Observaciones sobre construcción

---

Existen muchas maneras de construir un barco. Desde el método tradicional de construcción en madera en una de sus numerosas formas (construcción a tope, de tingladillo o doble tablazón en diagonal cruzada) hasta sus derivados modernos tales como el moldeado en frío y la tablazón de cintas. También está el contrachapado y, por supuesto, el acero y la aleación de aluminio. El plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), aunque probablemente es poco económico para un barco «one-off»\*, se ve por todas partes, y algunas de sus virtudes pueden traducirse en construcción de sandwich de espuma (revestimientos de PRFV con un núcleo de espuma en el centro); este material se suele utilizar con bastante frecuencia en proyectos individuales de construcción de barcos. También se puede tener en cuenta el ferrocemento en aquellos casos en los que el peso no importa demasiado y cuando exista una limitación económica para la construcción del casco.

Cada método de construcción tiene sus ventajas e inconvenientes que son de interés para el diseñador y que influyen en la elección final del material. En este capítulo examinaremos brevemente estos temas. Aunque, en primer lugar, expondremos unas cuantas consideraciones sobre el aspecto general del peso final probable del casco. Un consejo sencillo, pero razonablemente eficaz, es buscar un forro o revestimiento de un grosor similar al de un modelo con éxito construido con otro material; sin olvidarnos de añadir el peso de la estructura y los soportes adecuados, tal como se recomienda en los Capítulos 2 y 3.

---

\* Construcción de una sola unidad. Sistema de construcción de embarcaciones en la que se utiliza un molde externo que finalmente se retira quedando el casco ya fabricado (*N. de la T.*).

Supongamos, entonces, que hemos averiguado en algún sitio que el contrachapado de 12 mm sería un buen material para hacer el forro, pero el diseñador quiere investigar las posibilidades de la aleación de aluminio y el PRFV. ¿Qué grosor deberá tener cada uno y cuánto pesaría? Utilice la fórmula:

$$\text{Grosor}_A = \text{Grosor}_B \times \sqrt[3]{\frac{\text{Módulo}_B}{\text{Módulo}_A}}$$

Esto plantea la pregunta: ¿qué es el «módulo»? En realidad, el Módulo de Elasticidad de Young (E), o módulo de tracción, es una medida de rigidez. En la Tabla 3 se indicaba el peso del acero, de la aleación de aluminio, del contrachapado, de la madera y demás. Algunas partes se repiten en la Tabla 15 ampliándose para recomendar el módulo relevante E, o de elasticidad de Young (E) pertinente.

De este modo, volviendo a la fórmula que acabamos de exponer, vamos a realizar una prueba práctica suponiendo que queremos hallar el grosor del revestimiento equivalente en rigidez al del contrachapado de 12 mm. Queremos hallar las cifras relativas a la aleación de aluminio y al plástico reforzado con fibra de vidrio, comenzando por el aluminio:

$$\text{Grosor del aluminio} = \text{Grosor del contrachapado} \times \sqrt[3]{\frac{\text{Módulo del contrachapado}}{\text{Módulo del aluminio}}}$$

**Tabla 15.** Peso y módulo de elasticidad de varios materiales de construcción de barcos. La tablazón normal de madera dura tiene cifras muy parecidas a las del contrachapado.

Material	Peso lb/pie cuadrado/mm (kg/m <sup>2</sup> /mm)	Módulo de elasticidad 10 <sup>6</sup> lbf/pulgadas <sup>2</sup> (10 <sup>3</sup> /kgf/mm)
Acero	1,6 (7,8)	30 (21)
Aleación de aluminio	0,56 (1,73)	10 (7)
PRFV	0,3 (1,46)	1,3–1,6 (0,9–1,1) según el tipo de laminado
Contrachapado marino	0,14 (0,68)	1,8 (1,2)

Representándolo en cifras:

$$\text{Grosor del aluminio} = 12 \times \sqrt[3]{\frac{1,8}{10}}$$

Grosor del aluminio = 12 × 0,56

Grosor del aluminio = 6,72 mm, o muy cerca de 7 mm.

En la Tabla 15 vemos que la aleación de aluminio pesa 0,56 lb por pie cuadrado/mm de grosor. Por lo que una plancha de 7 mm pesará 3,92 libras/pie cuadrado.

Con la misma rigidez, el contrachapado de 12 mm con un grosor de 0,14 libras/pie cuadrado/mm pesará 12 × 0,14, o 1,68 libras/pie cuadrado. Con una clara victoria teórica para el contrachapado.

El mismo cálculo para un laminado de mat de cordones cortados de PRFV con una proporción resina/fibra de vidrio de 2:1, sería:

$$\text{Grosor del PRF} = 12 \times \sqrt[3]{\frac{1,8}{1,3}}$$

Grosor del PRF = 13,37 mm. Es decir, 14 mm.

La fibra de vidrio con una proporción de resina/fibra de vidrio de 2:1 pesa 0,3 libras/pie cuadrado/mm, de modo que un laminado de 14 mm de grosor pesará 14 × 0,3 libras/pie cuadrado. Es decir 4,2 libras/pie cuadrado, lo que confirma que, en teoría, pesa más que el contrachapado o el aluminio.

Hay que dejar clara una cosa al tratar sobre PRFV: el peso normalmente se especifica como peso del soporte de fibra de vidrio sólo en el laminado. Así, un laminado de 4 onzas tiene 4 onzas/pie cuadrado de fibra de vidrio. Hoy en día, una proporción de resina/fibra de vidrio de 2:1 es bastante normal, lo que significa que el revestimiento de 4 onzas tendrá también 2 × 4, u 8 onzas de resina de laminado por pie cuadrado. Este laminado pesará, entonces, 12 onzas/pie cuadrado, pero las tablas de peso que aparecen en el libro ya tienen en cuenta esto.

**Tabla 16.** Pesos reales y relativos de diversos materiales en comparación con el contrachapado marino de 12 mm. Como en la Tabla 15, las maderas duras están muy próximas al contrachapado, pero algunas maderas como el abeto y el fresno al parecer son más ligeras. Todas las cifras se basan en rigideces equivalentes.

Material	Peso lb/pie cuadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Peso relativo
Acero	7,52 (3,4)	1,00
Aleación de aluminio	3,92 (1,76)	0,52
PRFV	4,21 (1,89)	0,54
Contrachapado marino	1,68 (0,74)	0,21

Para resumir lo expuesto hasta el momento, la Tabla 16 muestra la rigidez relativa de los materiales de construcción rivales y los pesos asociados. Sin

embargo, tal como se ha deducido, existen más cosas relativas a la selección de los grosores del revestimiento que hallar simplemente las rigideces relativas. El contrachapado, por ejemplo, no es muy eficaz en cuanto a resistencia a los impactos. Algunas pruebas realizadas con diferentes materiales muestran que, para una energía de impacto de 9 pies/libra, el acero dulce de 18 swg (*standard wire gauge*; calibre del cable normal) (2 libras/pie cuadrado) resultaba mellado; la aleación de aluminio de 14 swg (1,1 libras/pie cuadrado) también resultó dañada y la plancha doblada; el contrachapado de 6 mm de 0,8 libras/pie cuadrado sufrió una fractura de todas las capas; mientras que dos capas de 1½ onza de mat de hilos cortados de fibra de vidrio, con una proporción de 2:1 resina/fibra de vidrio (0,56 libras/pie cuadrado), únicamente sufrió un ligero cuarteo.

Alguna vez se ha dicho que el entusiasmo debe templarse con la discreción. La rigidez es un buen consejo, pero no el único. La Tabla 16a muestra un estudio realizado en América en un yate de quilla de aleta de casco poco profundo de 30 pies (9,1 m), con una eslora en la flotación de 24 pies (7,3 m), una manga de 10 pies y 6 pulgadas (3,2 m) y un calado de 5 pies y 6 pulgadas (1,7 m) para determinar el peso del casco, incluyendo la estructura, dio los siguientes resultados que confirman nuestra tabla de pesos comparativos basados en rigideces iguales, aunque no con las diferencias tan espectaculares que hallamos.

El estudio no incluía el acero, que hubiera sido el más pesado, o la construcción tradicional en madera (cuyo peso se habría aproximado bastante al del acero), mientras que nuestra tabla de rigideces relativas excluye tanto la construcción en sandwich de espuma como la tradicional, por existir demasiadas variantes en ambas como para poder ser útiles en esa tabla.

Ahora, echemos un rápido vistazo a las otras formas de construcción, comenzando por el contrachapado.

**Tabla 16a.** Estudio comparativo norteamericano realizado en un yate de quilla de aleta de casco poco profundo de 30 pies (24 pies de eslora en la flotación, 10,6 de manga, y 5 pies 6 pulgadas de calado).

<i>Material</i>	<i>Peso de construcción</i>
Aleación de aluminio	735 lb (333 kg)
PRFV sólido	976 lb (442 kg)
PRFV con núcleo de espuma	652 lb (295 kg)
Contrachapado	486 lb (220 kg)
Moldeado en frío	606 lb (274 kg)

## Construcción de contrachapado

Desgraciadamente, el contrachapado suele asociarse con el material más barato del mercado. No obstante, el contrachapado marino de buena calidad existe desde hace muchos años y, cuando ha sido bien utilizado, ha resultado tener una vida duradera. Posiblemente existen dos razones de su mala fama. La primera es que ha habido una oleada de contrachapado importado de mala calidad con la denominación de contrachapado marino, incluso con el sello BS 1088, aunque el material del núcleo parecía más bien papel secante. Cuando se cortaba con una sierra, aparecían grandes huecos y grandes zonas completamente faltas de cola. No es de extrañar que durara poco como material de estructura de un barco.

El contrachapado marino, de hecho, debe llevar el sello BS 1088, pero éste tiene unas normas estrictas en lo que respecta al chapado del núcleo, que debe tener prácticamente las mismas especificaciones que los chapados de las caras, y ambos tienen que ser de una serie de maderas duras tropicales específicas. Lloyds, en sus recomendaciones sobre la elección de maderas para ser utilizadas como contrachapado marino, clasifica la madera de Agba, Guarea, Idigbo y Utile como «duraderas», mientras que la de Makore está clasificada como «muy duradera».

La cola utilizada tiene que ser BS 1203 WBP (resistente a la intemperie y al agua hirviendo), que hace que las uniones sean muy resistentes a la intemperie, a los microorganismos, al agua fría, al agua hirviendo, al vapor de agua y al calor seco. La cola que se emplea es resina fenólica. El contrachapado marino que se fabrica en Inglaterra con el sello BS 1088 está «homologado», lo que significa que ha sido inspeccionado durante su fabricación. Si no lleva esta garantía de calidad, debería comprarse un contrachapado que tenga cierta garantía en cuanto a su eficacia, o que haya sido personalmente recomendado por alguien que entienda del tema.

El contrachapado fabricado en Inglaterra puede adquirirse en planchas de 30 pies o más, lo que suele ser muy útil. Los anchos tableros de 4 pies (1.220 mm) se pueden unir a escarpe en la fábrica, en cualquier longitud que se desee; estas uniones, al estar realizadas con máquina, son de una mayor calidad que las realizadas en el banco de trabajo.

La segunda razón de la mala fama del contrachapado y de su frecuente corta duración es que no se ha prestado bastante atención a impedir que el agua penetre por los cantos expuestos, lo que finalmente causa la deslaminación. En cierta medida, esto se debía a un diseño deficiente, pero también a que no existían materiales disponibles y fáciles de utilizar para realizar el curado. Sin embargo, hoy día, las resinas epoxy, en sus más diversas formas, constituyen una barrera muy efectiva contra el agua si se extienden con brocha sobre los cantos expuestos y se emplean como relleno en las uniones poco perfectas.

Asimismo, las resinas epoxy pueden utilizarse junto con materiales de relleno más ligeros, como las microesferas, para formar uniones. Un ejemplo lo tenemos cuando sustituyen la pieza tradicional de madera del pantoque vivo.

La Fig. 54 muestra la sección maestra de un bote de remos/vela de 15 pies y 2 pulgadas por 3 pies y 6 pulgadas (4,6 m x 1,1 m) (Figs. 55 y 56). Aquí, se emplea una construcción sencilla en contrachapado con junquillos ligeros en los pantoques vivos y la cubierta, más para proporcionar un canto agradable a las planchas de contrachapado que por razones estructurales. Estas uniones de los cantos están reforzadas con cinta de fibra de vidrio y resina epoxy por la parte exterior de la unión, para proporcionar resistencia y estanqueidad. Los junquillos deben pegarse a las cuadernas con una mezcla de resina epoxy, rellenando las aberturas de las uniones.

En la Fig. 57 se indican los grosores de la tablazón de madera en pulgadas para un desplazamiento del barco en pies cúbicos. Hay que recordar que un pie cúbico de agua de mar pesa 64 libras y que una tonelada tiene 35 pies cúbicos de agua de mar. De modo que si conoce el desplazamiento de un barco en libras o toneladas, también debe conocer su desplazamiento en pies cúbicos.

El grosor de la tablazón puede reducirse alrededor de un 25 por ciento en el caso de construcción de contrachapado o de moldeado en frío.

Las líneas de puntos sirven como ejemplo. Supongamos que el barco tiene un desplazamiento de 125 pies cúbicos (3,57 toneladas). La raíz cúbica

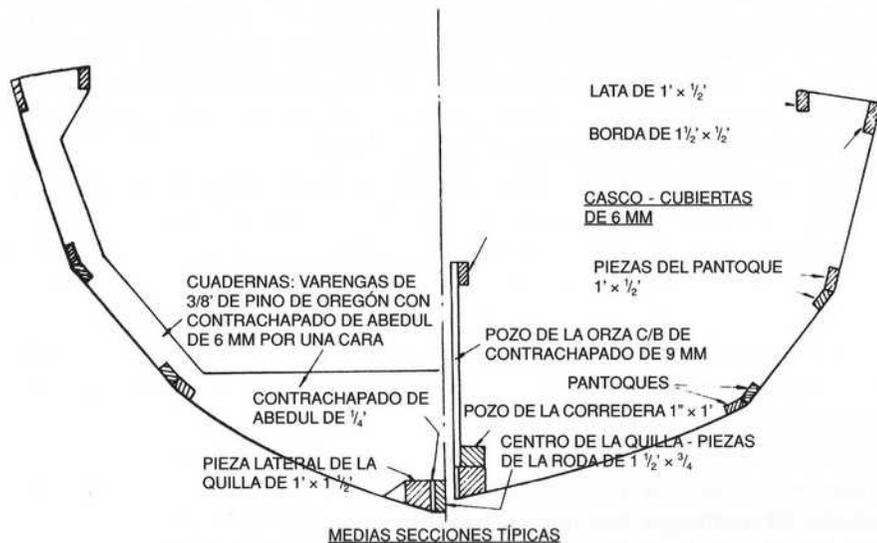


Fig. 54. Sección maestra de un bote de remos/vela en el que se ha utilizado resina epoxy y cinta de fibra de vidrio para impermeabilizar y reforzar.

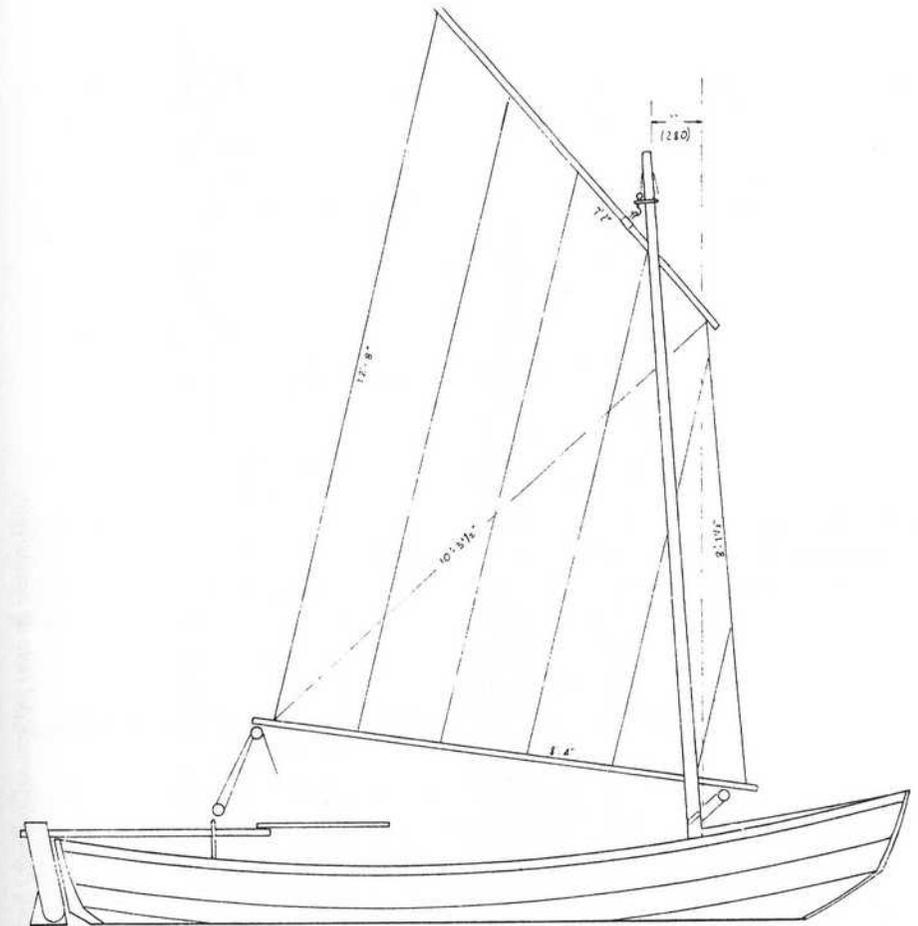


Fig. 55. Perfil del bote sobre el agua.

de 125 es 5. Esto nos da un grosor de tablazón de poco más de 3/4 de pulgada (19 mm) o poco más de 1/2 pulgada (12 mm) en construcción de contrachapado o moldeado en frío. Este grosor se obtiene en unión de las cuadernas situadas a una distancia de 12 pulgadas (300 mm) y que, en este caso, tienen una superficie de sección de alrededor de 2 pulgadas cuadradas (1.290 m<sup>2</sup>). Esto significa que las cuadernas pueden ser de 1 3/4 pulgadas x 1 1/2 pulgadas (45 mm x 32 mm), pero si la distancia entre las cuadernas varía, el grosor de la tablazón también debe variar en la misma proporción. Hay que señalar que la superficie de las cuadernas se basa en la raíz cuadrada, no en la raíz cúbica, del desplazamiento volumétrico.





para rellenar huecos. Actualmente existen otras empresas que también fabrican resinas que consiguen el mismo resultado.

Maderas como el abeto, el fresno, el abeto de Canadá y el cedro tienen unas relaciones potenciales de resistencia/peso considerablemente más altas que ningún otro material de construcción de barcos, con la posible excepción de algunos de los materiales «exóticos» utilizados en la construcción en sandwich de espuma (véase el apartado sobre PRFV de la página 129). Para que pueda conseguirse este potencial, la madera debe tener un bajo contenido de humedad, lo que puede lograrse secando primero la madera de modo artificial, hasta que contenga, por ejemplo, un 12 por ciento, y después aplicando una capa de una de estas resinas epoxy. Las pinturas modernas repelen el agua, pero no son tan eficaces contra el vapor de agua (que es un gas).

Toda la estructura del yate debe estar completamente recubierta con epoxy por dentro y por fuera, sin dejar zonas sin cubrir, como ocurre en los lugares entre las cuadernas y las tablazones en los barcos construidos de forma tradicional. Debido a que puede ejercerse un mayor cuidado al asegurar que las uniones encajen perfectamente (¡las uniones encoladas con epoxy, claro!), el sistema WEST™ se encuentra asociado al moldeado en frío.

Al ser bajo, y mantenerse bajo, el contenido de humedad, la madera no encoge ni se hincha con los cambios de tiempo (por lo menos en la misma medida que la madera sin tratar), y son muy pocas las posibilidades de que aparezca la podredumbre.

### **Madera tradicional (con variaciones)**

La construcción por moldeado en frío y con contrachapado se lleva a cabo casi siempre con el casco invertido, para que resulte más fácil trabajar en él. En la construcción convencional, sin embargo, el barco se suele colocar derecho; todo depende del gusto del constructor.

En el caso de la tablazón de tingladillo, en el que las tablazones se solapan y se unen unas a otras con cabillas de cobre (una cabilla es una especie de arandela a través de la cual pasa el clavo que después se corta a la longitud adecuada; la cabilla se aplasta sobre el clavo, formando una especie de remache), primero se coloca la estructura de la roda, la quilla, el espejo y demás, junto con las plantillas de construcción o gálibos, que definen la forma correcta. Después se coloca la tablazón y a continuación se ponen las cuadernas. Normalmente, éstas son cuadernas de madera de sección pequeña que, una vez tratadas con vapor, son lo bastante flexibles para poder curvarse en la posición correcta. Se clavan a la tablazón con más clavos y cabillas de cobre. Más tarde se quitan los moldes de construcción, que se pueden utilizar de nuevo si es necesario.

La tablazón de tingladillo puede ser alrededor del 10 por ciento más delgada que la tablazón a tope convencional. De este modo, el barco resultante es más ligero, pero, debido a que suele llevar sólo cuadernas pequeñas de madera tratadas con vapor y no cuadernas tradicionales, esta tablazón es más adecuada para barcos de menos de 30 pies (9,1 m) de eslora. Las reparaciones menores son más sencillas, puesto que no hay uniones encoladas, pero los trabajos de mayor envergadura exigen la atención de un experto. El mantenimiento suele llevar mucho tiempo debido, principalmente, a que el interior tiene muchas cuadernas de madera que cruzan las tablazones unidas en solapo, dejando huecos detrás que son difíciles de limpiar y de pintar.

La tablazón a tope lleva las tablazones individuales unidas al ras unas con otras, y el hueco que se forma entre ellas se rellena con estopa de calafatear y masilla blanca de plomo (o, actualmente, con un compuesto sintético para calafatear). El casco puede estar construido con cuadernas de madera tratadas al vapor, como en el caso de la construcción de tingladillo, o con cuadernas cortadas o laminadas con forma. Muy pocas veces se utilizan cuadernas de acero, en cuyo caso todo el proceso se denomina construcción mixta.

Si se utilizan cuadernas serradas o laminadas, se colocan en su lugar y se fijan a la quilla por medio de las varengas antes de comenzar a poner la tablazón. En otras palabras, las cuadernas ocupan el lugar de los moldes de construcción, pero, a diferencia de los moldes, forman parte de la estructura permanente. Un barco de construcción tradicional a tope es bastante pesado; está en un término medio entre los de PRFV y los de acero. Al igual que en el caso de los barcos de tingladillo, las reparaciones pequeñas son muy sencillas, pero los trabajos importantes, bastante menos. Si se construyen cuidadosamente con buenos materiales y posteriormente se mantienen bien, estas embarcaciones construidas al modo tradicional tienen una larga expectativa de vida.

### **Diagonal doble**

Una variante de los métodos que existen para colocar la tablazón con una larga y venerada historia es la de diagonal doble. Al igual que la construcción de tingladillo, esta modalidad puede reducir su grosor alrededor de un 10 por ciento en comparación con las recomendaciones para la tablazón a tope, indicadas en la Fig. 57.

Tal como ocurre en la construcción por moldeado en frío, las dos primeras capas de tablazones se colocan de forma diagonal, pero en direcciones opuestas. El moldeado en frío añade un tercer revestimiento, pero la diagonal doble se limita a dos, y las capas, en lugar de ir encoladas, están sujetas con clavos y arandelas de cobre (cabillas), con las tablazones en forma de sandwich colocando en medio una capa de calicó crudo empapado en pin-

tura blanca de plomo. Esta capa debe estar húmeda cuando se unen las tablazones con remaches. El calicó cubre los huecos que se forman en cada cruce de tablazones. Normalmente, las cuadernas curvadas con vapor se emplean para formar un casco sólido y flexible que utiliza, provechosamente, tablazones menos largos en comparación. Las reparaciones suelen ser difíciles y, a veces, cuando el calicó con pintura blanca de plomo se seca, esta capa impermeable puede empezar a producir filtraciones que son muy complicadas de arreglar.

### Tablazón de cintas en diagonal

En estos dos métodos los cantos de las tablazones se unen con cola, lo que hace que, aunque las uniones sean resistentes, también sean difíciles de reparar. En la tablazón de cintas, se colocan tablones muy estrechos desde la proa hasta la popa. Los cantos pueden sesgarse para que encajen bien o se puede redondear un canto en cada tablazón y dejar el otro hueco para que uno se asiente en el otro, eliminándose la necesidad de efectuar el sesgado en la mayoría de las tablazones. Este redondeado y ahuecado debe hacerse con maquinaria especial para madera y no de forma manual en el banco de trabajo. Cuando la tablazón de cintas forma un giro cerrado, se utilizan clavos que atraviesan las tablazones para unirlos. Esto se puede hacer con clavos o con espigas de madera de aproximadamente 1/8 de pulgada de diámetro.

Como alternativa al sesgado o al redondeado, se pueden utilizar tablazones con cantos cuadrados, manteniendo los cantos apretados por dentro y rellenando posteriormente el hueco que queda por la parte exterior con una masilla de epoxy de baja densidad.

La tablazón en diagonal larga lleva un solo forro, que se coloca en diagonal (Fig. 60). Básicamente, el sistema de trabajo consiste en unir a tope las tablazones una con otra sucesivamente; colocar un eje encima de las caras que se van a unir para cortar la madera y que ésta encaje perfectamente; y después presionar una tablazón contra la otra y encolar los cantos. Al igual que en el método de tablazón en diagonal doble, este sistema requiere tablazones comparativamente más cortos. En las zonas difíciles, éstas también pueden clavarse.

### Acero

El acero es indiscutiblemente pesado y al soldarlo suele deformarse cuando su grosor es menor de 1/8 de pulgada (3 mm). Dado que las planchas de 3 mm pesan alrededor de 5 libras/pie cuadrado (24,5 kg/m<sup>2</sup>), no se suele utilizar para barcos de menos de 25 pies (7,6 m) de eslora. Este material es re-

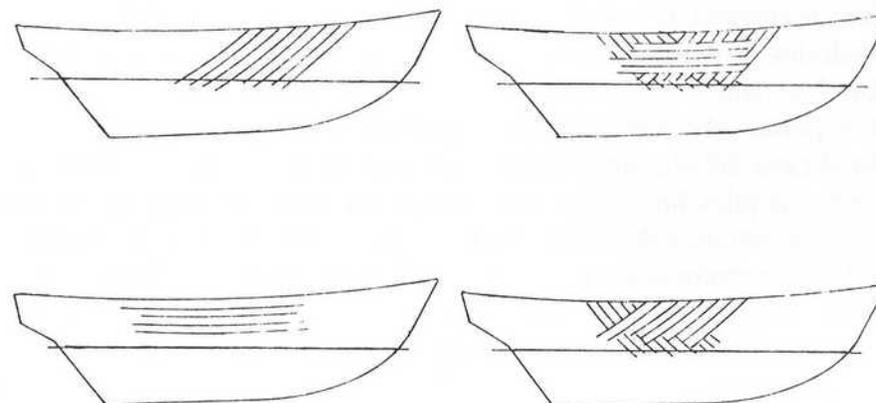


Fig. 60. Colocación de las tablazones en diferentes métodos de construcción. Empezando por arriba y de izquierda a derecha, están: diagonal larga, moldeado en frío con forro triple, tablazón de cintas y diagonal doble.

sistente y rígido; si su crucero de casco de acero chocara contra un arrecife de coral, podría rajarse, alabearse y deformarse, pero normalmente suele ser estanco cuando otros materiales ya se han hecho añicos. Asimismo, es bastante fácil realizar reparaciones provisionales soldando un trozo. Si la construcción se lleva a cabo en un lugar cubierto, con acero chorreado con granalla y con imprimación, puede tener una larga vida con escaso mantenimiento. Se puede aplicar un posterior chorreado sobre las zonas deterioradas y soldadas antes de darle imprimación con cualquiera de los excelentes productos de imprimación o sellado que existen hoy día, entre ellos los epoxies. Si se construye al aire libre, el chorreado con granalla debe darse sobre el acero desnudo en la última fase, y debe aplicarse la imprimación lo antes posible (a las pocas horas). En ese caso, el acero pre-imprimado no es demasiado útil, pues suele estropearse al permanecer a la intemperie, apareciendo feos zonas oxidadas. Por este motivo, hay que efectuar el chorreado sobre todo el barco, por dentro y por fuera.

Ya hemos mencionado el hecho de que resulta difícil utilizar acero de un grosor inferior a 3 mm, y que esto puede ocasionar problemas en yates y motoveleros pequeños con amplias superestructuras de acero, como casetas de gobierno y demás. Normalmente, en la construcción de embarcaciones el diseñador intenta disponer las cosas de manera que cuanto más alta esté la línea de flotación, más delgados o ligeros sean los materiales que se emplean. Evidentemente, esto se hace para proporcionar estabilidad (información adicional sobre el tema en el Capítulo 7) manteniendo el centro de gravedad vertical (vcg) lo más bajo posible. Pero si se desea utilizar acero de 3 mm no podemos hacer mucho en este aspecto. Por ello, en estas embarcaciones a menudo conviene considerar las superestructuras de contrachapado o de aleación de aluminio.

Para realizarlo, se suelda una barra plana de acero alrededor del perímetro de las superestructuras, inclinándola un poco desde la vertical para igualar el recogimiento de costados de la superestructura. A dicha barra se clavan con pernos el contrachapado y sus refuerzos de madera.

En el caso del aluminio, debe colocarse una cinta aislante entre la barra de acero y la plancha de aluminio. Los pernos pueden ser de acero galvanizado o de acero inoxidable. Si son de acero inoxidable, deben colocarse con tacos de algún material inerte, como el nailon, poniendo arandelas de este mismo material debajo de las cabezas y tuercas. Esto se hace para impedir que se produzca el efecto electrolítico entre el acero y la aleación, que puede corroer el aluminio.

**Tabla 17.** Serie galvánica. Los metales del extremo noble atacan a los metales del extremo base cuando están en contacto con agua de mar.

<b>Extremo noble o catódico</b>	
Acero inoxidable tipo 316	Plomo
Acero inoxidable tipo 304	Acero inoxidable con óxido destruido
Acero inoxidable tipo 321	Hierro colado
Monel	Acero dulce
Bronce de cañón	Aleaciones de aluminio
Bronce fosforoso	Cadmiado
Latón estañado	Acero galvanizado
Latón rojo	Zinc
Cobre	Magnesio
Latón naval	<b>Extremo base o anódico</b>
Bronce de manganeso	

En la Tabla 17 se muestra la serie galvánica, en la cual los metales nobles o catódicos están situados en la parte superior. Éstos tenderán a atacar a los metales base o anódicos, en la parte baja; cuanto más separados estén en la tabla, más dañino será el efecto en contacto con el agua de mar. El acero inoxidable aparece dos veces. Esto se debe a que normalmente forma una película protectora alrededor de sí mismo (como la aleación de aluminio); pero si ésta se destruye, puede darse el caso de que descienda en la serie galvánica hacia el extremo de los metales base, por ejemplo en una hélice de acero inoxidable, cuando el cojinete situado bajo el agua a través del cual pasa el eje desgasta la película protectora. El motivo por el que se utilizan ánodos de zinc resulta obvio. Prácticamente todos los demás metales lo atacan y, preferentemente, los metales que pueden ser estructuralmente esenciales. En agua dulce, normalmente se utilizan ánodos de magnesio.

Volviendo a la construcción en acero, los depósitos de combustible integrales ahorran espacio y dinero. Deben tener grandes agujeros para facili-

tar su inspección y mantenimiento. Los depósitos de agua deben ser de acero inoxidable o de aleación de aluminio, pues el agua es bastante más corrosiva para el acero que el gasóleo.

La especificación del acero que se utiliza en la construcción de embarcaciones normalmente es BS 4360 43 A, que es un acero dulce convencional. Los aceros especiales como el Corten, que tiene un bajo contenido de carbono, pero más cobre y manganeso, se utilizan algunas veces, pero, en general, su elevado coste y las posibles dificultades a la hora de soldarlo los descartan.

En los apartados sobre madera y PRFV se indican algunos grosores recomendados para el revestimiento, aunque los grosores del acero no se han incluido, ya que el espesor de las planchas suele estar dictado por las existencias del mercado. Por ejemplo, no serviría de nada afirmar que una embarcación de 5 toneladas de desplazamiento requeriría planchas de 3,6 mm, puesto que esta especificación no se encuentra disponible.

Lo que se puede afirmar en términos generales es que para embarcaciones de menos de 30 pies (9,1 m) de eslora, es acertado utilizar planchas de 3 mm para la carena, los costados y la cubierta, y cuadernas de alrededor de 65 mm x 50 mm x 6 mm (2½ pulgadas x 2 pulgadas x ¼ de pulgada) con una separación de 3 pies y 3 pulgadas (1 m) aproximadamente. A partir de esloras de 30-40 pies (9,1-12,2 m), pueden utilizarse planchas de 4 mm para la carena y los costados, y de 3 mm para la cubierta. El tamaño de las cuadernas puede aumentar hasta 75 mm x 50 mm x 6 mm (3 pulgadas x 2 pulgadas x ¼ de pulgada) y colocarse a una distancia de 3 pies y 3 pulgadas (1 m). Por encima de los 40 pies de eslora, nos vamos a planchas de 6 mm para la carena y de 4 mm para las partes altas de los costados y las cubiertas. Las cuadernas serán entonces de 80 mm x 60 mm x 6 mm (3½ pulgadas x 2½ pulgadas x ¼ de pulgada) con la misma separación anterior, en la que encajarán muy bien, disponiendo de un espacio para alojamiento entre los mamparos de 2 m. Ninguna de estas recomendaciones menoscaba la necesidad de consultar las normas de las sociedades de clasificación (como la Lloyds) si queremos hacer el trabajo correctamente. Su objetivo es simplemente proporcionar al diseñador una idea sobre sus limitaciones.

Aparte de un mamparo de colisión en la proa, quizás sea mejor evitar los mamparos de acero en los barcos pequeños. Son pesados y suelen ser poco estables, y tienen que estar revestidos si queremos que tengan un buen aspecto. Por lo general, es mejor instalar mamparos de contrachapado. En embarcaciones grandes se pueden colocar mamparos de acero a proa y popa del compartimento del motor. Resulta fácil hacer estancos los mamparos de acero.

En las Figs. 61 y 62 se muestran las líneas y la lista de escantillones para un queche con aparejo de junco de 55 pies. A este respecto no hay nada especial que destacar, excepto que se han utilizado barras en el pantoque. Éstas no son estrictamente necesarias, pero algunos constructores las prefieren para evitar los daños por rozamiento en lo que podrían considerarse esqui-

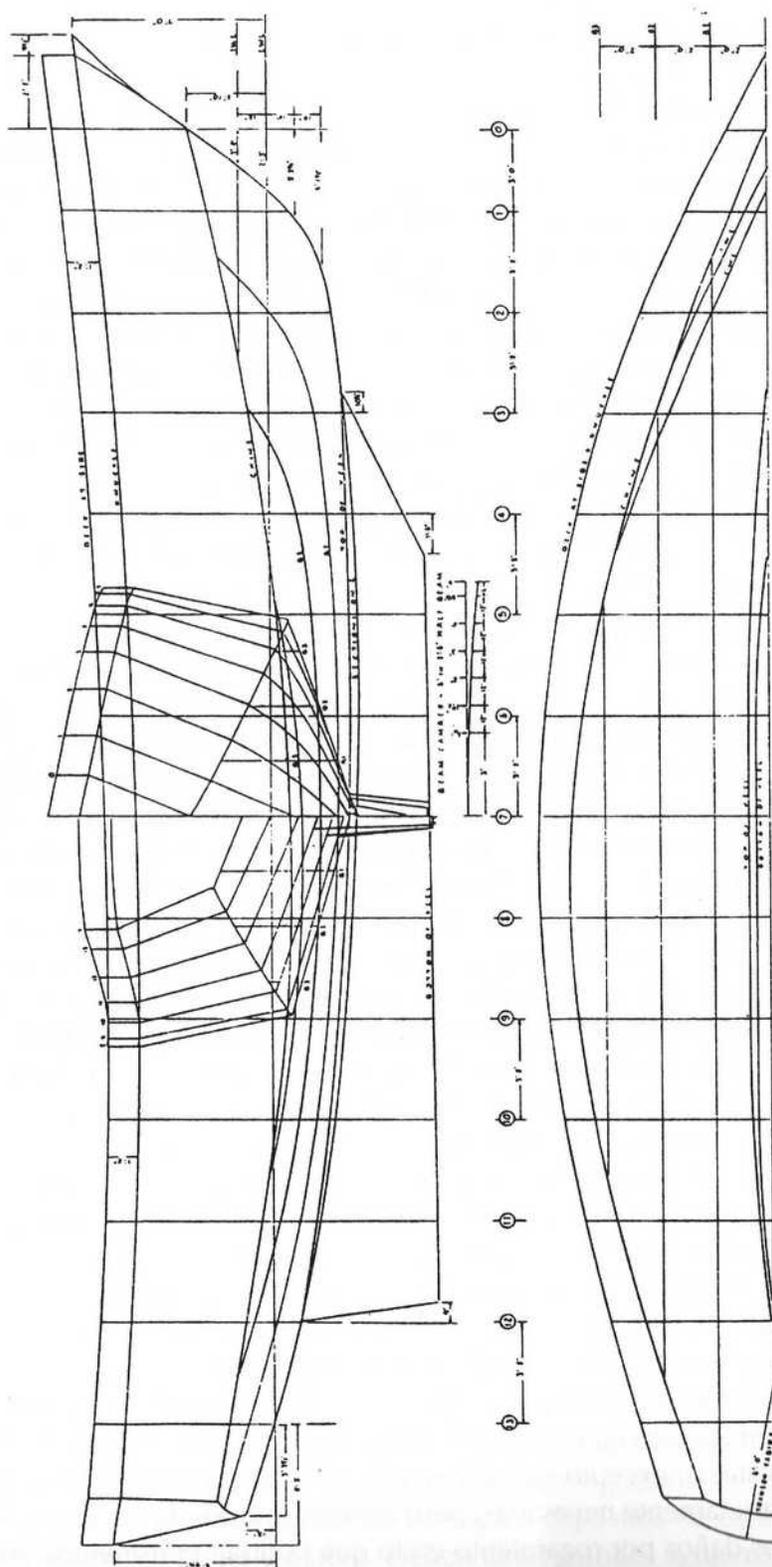


Fig. 61. Plano de formas de un queche con aparejo de junco.

Escantillones	
Carena de la quilla	9 mm
Costados de la quilla	6 mm
Forro exterior de la carena	5 mm
Forro exterior del costado	5 mm
Suelo de la cabina y cubiertas	4 mm
Varengas	6 mm
Mamparos	4 mm
Consolas	6 mm con brazos de 8 pulgadas
Pletina de cabeza	65 mm x 6 mm
Perfil de la regala	tubo de diámetro exterior de 5 pulgadas
Perfil del pantoque	tubo de diámetro exterior de 3 pulgadas o perfil plano de 100 x 9
Perfil de la roda	perfil plano de 100 mm x 12 mm
Cuadernas del casco	perfil plano de 130 mm x 6 mm
Baos de cubierta	perfil plano de 80 mm x 6 mm
Refuerzos de los mamparos	perfil plano de 65 mm x 6 mm
Puntales	tubo de 65 mm x 4 mm en baos alternos
Palmejares del casco	perfil plano de 65 mm x 6 mm
Trancaniles	perfil plano de 40 mm x 6 mm
Bancadas del motor	6 mm

Fig. 62. Lista de los principales escantillones de acero del queche anterior de 55 pies (16,7 m).

nas vulnerables si las planchas únicamente estuvieran unidas y soldadas (que suele ser lo normal) para darle una curva bonita al pantoque. Su inconveniente es que hay que hacer el doble de soldaduras que si las planchas de los costados y la carena estuvieran encajadas a tope.

La soldadura en los barcos de acero puede hacerse con arco eléctrico normal (sistema versátil y económico) o bien por medio de uno de los procesos de arco protegido, en los que el arco está envuelto por un gas inerte como el CO. Este último método produce menos deformación, es algo más caro y poco adecuado para la construcción al aire libre, pues el viento puede perturbar el gas protector.

### Aleación de aluminio

La mayoría de los barcos se construyen (de la misma manera que con acero) con aleaciones como NE5 o NE8 para extrusiones, NS5 o NS8 para planchas y demás. Éstas son aleaciones que se pueden soldar, aunque la soldadura debe llevarse a cabo a través de un proceso de soldadura por arco protegido. Al igual que el acero, el aluminio puede deformarse al soldarse; el grosor mí-

nimo de las planchas que pueden soldarse sin que se produzca deformación es de unas  $3 \frac{1}{16}$  pulgadas ( $4 \frac{1}{2}$  mm).

El aluminio, con un módulo de elasticidad de 10 en comparación con el de  $30 \times 10^6$  del acero, debe ser aproximadamente una vez y media más grueso que el acero para conseguir la misma resistencia con la mitad de peso, por lo que es un material adecuado para la construcción de barcos, aunque algo caro.

Cuando se habla de aluminio se producen todo tipo de inquietudes, a menudo con la deducción de que se derretirá a la menor oportunidad y que no puede ser armado usando materiales normales. Esto no es así. Las llaves de fondo de aluminio o de plástico pueden sustituir a las de bronce tradicionales; el acero dulce galvanizado está muy cerca del aluminio en la serie galvánica y, por este motivo, puede utilizarse para los pernos de la quilla y otros; el eje de acero inoxidable de una hélice está automáticamente aislado de cualquier otra estructura de aleación por el material de su soporte; las hélices de bronce pueden recubrirse con cromo duro si nos preocupa el tema; y así sucesivamente.

De hecho, si bien podemos considerar el acero como un material que exige poco mantenimiento cuando está preparado y recubierto correctamente, las aleaciones de aluminio constituyen estructuras que no exigen mantenimiento. No es necesario pintarlas, salvo que deseemos hacerlo con fines decorativos y para que sean «anti-incrustantes», ya que forman una película sobre la superficie que vuelve a aparecer si se destruye localmente. Pero puede ser complicado realizar reparaciones eficaces en lugares difíciles, donde los equipos adecuados para soldar y la aleación de la especificación adecuada brillen por su ausencia.

## Ferrocemento

No hace demasiado tiempo, la gente volvía su mirada al ferrocemento cuando el dinero escaseaba y abundaba la ambición de construir un crucero grande con este material por mucho menos dinero que con otro. El trabajo que lleva consigo es enormemente duro, si bien no se necesitan conocimientos especiales, excepto al final del proceso de construcción, cuando hay que trabajar el cemento a través del armazón de alambre, los tubos y las varillas para fabricar un revestimiento uniforme y liso por dentro y por fuera, sin huecos o bolsas de aire. Para realizar este trabajo también se puede contratar a profesionales y, como hay que terminarlo en un día, el coste no es demasiado elevado.

Desgraciadamente, el casco representa una parte comparativamente pequeña del coste total de un barco, y en nuestro litoral abundan muchos yates sin terminar que corroboran tristemente este hecho. Los barcos de ferrocemento que no hayan sido construidos por algún astillero de renombre suelen tener un escaso valor de reventa. Esto no se debe a que haya algo intrínseca-

mente defectuoso en el material, sino a que a la gente le resulta difícil juzgar la calidad del trabajo manual una vez finalizado el barco. ¿Hay agujeros debajo de una superficie exterior reluciente que puedan originar problemas de corrosión y solidez? ¿Realmente, oculta la pintura el hecho de que el soporte esté peligrosamente cercano a la superficie, con su casi inevitable oxidación y subsiguiente corrosión en masa, con el resultado de que se puedan producir grietas en el cemento? Incluso un inspector lo encontraría difícil de adivinar.

Los barcos de ferrocemento no sufren podredumbre, no pueden ser atacados por los gusanos ni padecer ósmosis, pero son pesados; por lo general, su peso es algo mayor que el de los barcos con casco de acero. Aunque a veces se echan aditivos en la mezcla de cemento para retrasar el curado (muy importante cuando hace calor) o para reducir las necesidades de agua, más a menudo se utiliza el cemento normal Portland con una proporción de agua/cemento de alrededor de 0:35, con  $3 \frac{1}{2}$  galones (16 litros) de agua por cada bolsa de cemento de 112 libras (50 kg). La proporción arena/cemento es de alrededor de 2:1, en términos de peso.

Existen dos métodos principales de construcción. El primero consiste en colocar el casco hacia arriba sobre las cuadernas del barco (por lo general, de tubo de acero), como en la construcción tradicional de madera o de acero. La quilla, la roda y otras piezas son también de tubo, y todas ellas están reforzadas con numerosas longitudinales de barra redonda. A esta estructura se fijan unas cuantas capas de tela metálica o tela de acero similar con trozos de alambre retorcidos, y se unen con el mismo sistema. Se alisa y retoca el conjunto hasta conseguir la forma de casco adecuada, y después se trabaja la mezcla de cemento y se agita con aparatos vibradores mecánicos para evitar las burbujas de aire. El segundo sistema de construcción consiste en fabricar un molde con junquillos, al igual que se hacía en la construcción por moldeado en frío, y colocar el casco sobre éste. Aunque de este modo el retoque es más fácil, aumenta el riesgo de que queden bolsas de aire en el cemento.

Una vez finalizado el casco, se suele cubrir con tela de saco o arpillera y se rocía con agua de manera intermitente durante una semana, aproximadamente, para retrasar el forjado. Por último, se pinta con una buena pintura impermeable, del tipo epoxy.

## PRFV

Aunque el plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) es con mucho el material de construcción de embarcaciones más habitual hoy en día, esto no implica que sea necesariamente el mejor. Simplemente es un buen material en general, admirablemente adaptado a series de producción limitadas. No se pudre, aunque puede desarrollar ósmosis, y no se corroe, aunque arde

asombrosamente bien, a menos que se empleen resinas retardadoras del fuego. Éstas suelen ser caras y no se estropean, como ocurre con las que se utilizan normalmente.

Los barcos de PRFV se construyen colocando en un molde varias capas de fibra de vidrio, normalmente con una resina de poliéster. La fibra de vidrio se presenta de diferentes formas, las principales son en *mats* (esteras de cordones cortados) y en *rovings* (tejidos de cordones). Ambos se fabrican con fibra de vidrio calentada a 1.300-1.400 °C en horno eléctrico y después se retiran rápidamente pasando a través de casquillos de platino y se amontonan para formar un cordón. Los cordones se pueden juntar para formar mats de cordones cortados, juntando cordones de 1-2 pulgadas (25-50 mm) de forma aleatoria con un aglutinante de resina; o bien se pueden tejer adoptando forma de cuadrados, convirtiéndose en *rovings* o tejidos de cordones.

El mat es comparativamente más barato y constituye la base de la mayoría del material laminado de las embarcaciones. Resulta fácil trabajar la resina a través de capas sucesivas de fibra de vidrio para conseguir el grosor necesario, pero si se utiliza solo carece de rigidez, especialmente si el contenido de resina es demasiado elevado. Una proporción de resina/fibra de vidrio de 3:1 podría dar un módulo E muy bajo de 0,8. Por este motivo, en muchos casos, el mat se combina con capas alternas de roving, que es más resistente, para obtener un módulo E más elevado, de 1,8. La proporción de resina/fibra de vidrio, debe ser de 2:1, aproximadamente.

Hay que empezar por algo que no tenga demasiadas variables, por lo que las recomendaciones sobre el peso del laminado se efectúan teniendo en cuenta sólo los mats, como en la Fig. 63. Esto funciona teniendo como base el desplazamiento del barco. Las líneas punteadas representan la pauta para un barco en el que la raíz cúbica del desplazamiento en pies cúbicos es 5 (por lo que el desplazamiento es  $5^3$ , o 125 pies cúbicos). El peso del laminado de la carena sería entonces de alrededor de 8 onzas de mat, y los refuerzos se colocarían a una distancia de 19 pulgadas. Si se añaden *rovings*, el módulo de elasticidad (E) podría aumentar de 1,3 a 1,6, por lo que el laminado de la carena podría reducirse según el método indicado anteriormente.

Tradicionalmente, los barcos de PRFV se construyen realizando primero una réplica exacta del barco en alguna madera estable (esta réplica se conoce como modelo macho); más tarde se saca un molde; y por último se efectúa el laminado dentro del molde. Esto es obviamente caro para un barco «one-off», pero existe la opción de un sistema de construcción que lo sustituye. Éste consiste en construir primero un molde con junquillos, al igual que en el sistema de moldeado en frío, y después cubrirlo con una capa de plástico expandido de alvéolos rígidos, como el poliuretano expandido. Se clava provisionalmente la espuma al molde y se forra con PRFV. Después, se levanta y se cubre por dentro con otra capa de PRFV. Posteriormente, el inevitable acabado rugoso se iguala y se lija, lo que constituye un duro trabajo.

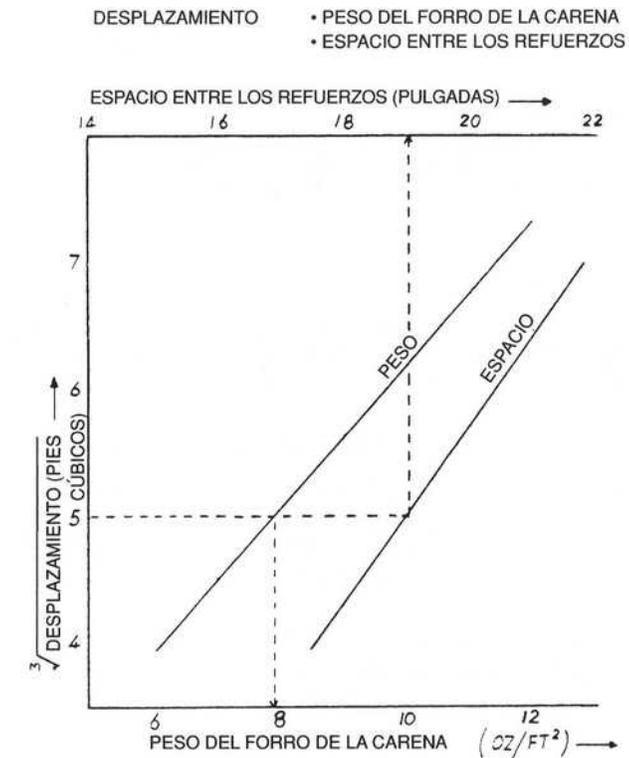


Fig. 63. *Peso recomendado del laminado de la carena (de mat de cordones cortados con una proporción de resina/fibra de vidrio de 2:1) y espaciado de los refuerzos basándose en la raíz cúbica del desplazamiento volumétrico.*

En la Fig. 64 se muestra el modo de averiguar el peso del laminado con núcleo de espuma o en sándwich (el método descrito anteriormente) para igualar la resistencia de un laminado sólido. Si este último fuera un revestimiento de 8 onzas (alrededor de  $\frac{1}{4}$  de pulgada) de grosor y estuviera previsto utilizar un núcleo de espuma de  $\frac{1}{4}$  de pulgada de grosor (6 mm) en construcción en sándwich, por este razonamiento, antes habría que hallar el momento de inercia (I) del modelo sólido, tomando un trozo de carena de una anchura cualquiera. En este caso se eligió de 2 pulgadas, pero cualquier anchura valdría. La respuesta fue 0,0026 pulgadas<sup>4</sup>.

Lo que pretendemos es hallar un valor I utilizando el núcleo de espuma y una capa de fibra de vidrio y resina a cada costado que sea similar o mayor que el valor del laminado sólido. Podemos intentarlo con la capa de PRFV más delgada posible de 1 onza, de  $\frac{1}{32}$  pulgadas de grosor por ambos lados. El espesor interior sigue siendo de 0,25 pulgadas, pero por fuera es ahora de  $\frac{1}{4}$  de pulgada +  $\frac{1}{16}$  pulgada, o 0,31 pulgadas. De este modo, I es 0,0023 pulgadas<sup>4</sup>, que, menos mal, es demasiado bajo, pues hubiera sido

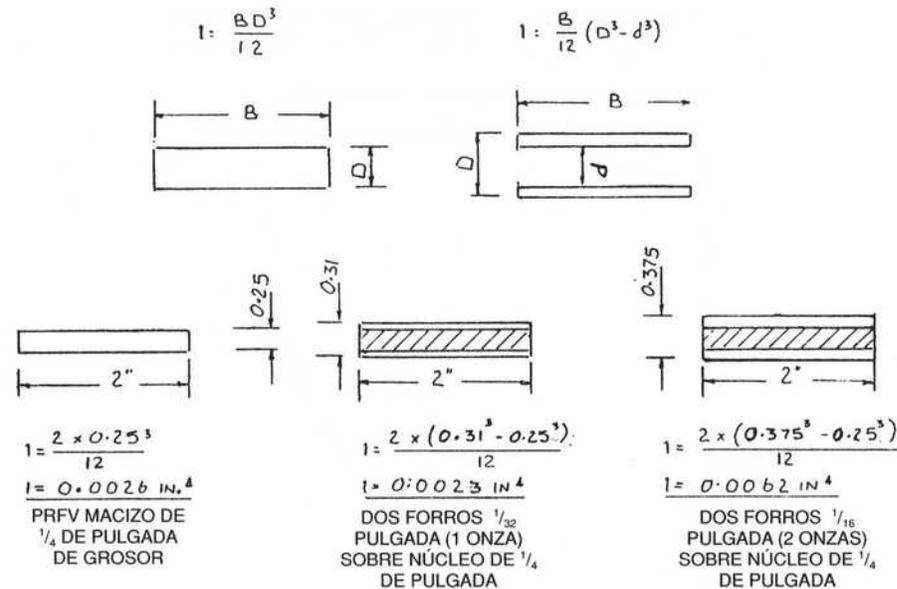


Fig. 64. Método para calcular los principales componentes de un laminado en sándwich de espuma de igual resistencia que uno de PRFV macizo.

un problema que los forros exteriores fueran demasiado delgados en caso de sufrir una gran abrasión. Haga los cálculos de nuevo, pero esta vez con un revestimiento el doble de grueso, y la respuesta será un momento de inercia de 0,0062 pulgadas<sup>4</sup>, una cifra satisfactoria, por lo que el casco pesará entonces bastante menos que otro de laminado sólido. La espuma expandida puede pesar del orden de 4-7 libras/pie cúbico (64-112 kg/m<sup>3</sup>).

El soporte normal de fibra de vidrio de un laminado es fibra de vidrio E con una resistencia a la tensión final de unas 500.000 libras/pulgada cuadrado. En las zonas del casco sometidas a mayor tensión, y para reforzar las longitudinales, se pueden emplear soportes más resistentes, a expensas de que la resina presente más dificultades para «humedecerse» y de su coste inevitablemente más alto. Un soporte de este tipo es la fibra de vidrio S, y otros dos más conocidos son la fibra de carbono y el Kevlar. Este último material se utiliza, por lo general, en forma de rovings, mientras que la fibra de carbono se emplea como roving unidireccional para reforzar los palmejares y las cuadernas. También sirve para fabricar palos sin obenques, en los que la rigidez es una cualidad muy apreciada. Utilizando estos soportes de materiales «exóticos» podemos ahorrar peso, aunque resulta imposible generalizar.

El laminado corriente de resina de poliéster no saturada puede sustituirse por la resina epoxy o, como intermedio entre los dos, por la resina de vinilester. Ambas son más caras que el poliéster, pero tienen mejores cualidades de resistencia, adhesión e impermeabilidad.

## 7. Estabilidad

La estabilidad es una materia de la que resulta útil contar con un ligero conocimiento, pero más de eso resulta innecesario. Sólo ocasionalmente se pide a los diseñadores que realicen cálculos sobre estabilidad, y para ese caso existen expertos equipados con ordenadores programados para realizar los fastidiosos y largos cálculos. Si el diseñador puede proporcionar al ordenador la información que necesita y es capaz de interpretar los resultados obtenidos, ya es bastante.

Todos los cálculos sobre estabilidad giran sobre el hecho de conocer las posiciones de, en primer lugar, el centro de gravedad, G, y en segundo, del centro de carena, B. En los cálculos realizados anteriormente hallamos la situación del centro de gravedad longitudinal (l<sub>cg</sub>) tomando momentos en la sección maestra. Ahora, podemos ampliar el proceso tomando momentos de las mismas piezas de la estructura del casco y del equipamiento, pero esta vez por encima y por debajo de la línea de máxima carga (l<sub>wl</sub>). Se dividen los momentos totales entre el peso total, según hicimos antes, y el resultado será la posición vertical de G. Éste es el primer dato que requiere el ordenador, aunque deja sin resolver la localización de B.

Por mucho que un barco escora, se supone que G permanece en el mismo lugar, como realmente sucederá mientras nada se rompa y el barco no se hunda. Aunque, al ser B el centro de la superficie sumergida, el volumen variará con cada diferente ángulo de escora mientras se desplaza, para convertirse en el centro de la nueva superficie sumergida. El trabajo que implica calcular esta nueva posición con diferentes ángulos de escora es largo, como se puede imaginar, y conviene dejarlo a la magia del ordenador.

En todos los casos, el peso del barco actúa verticalmente hacia abajo, a través del centro de gravedad,  $G$ , mientras que la flotación del barco, una fuerza igual y opuesta, actúa verticalmente hacia arriba, a través de  $B$ . Estas fuerzas deben ser similares y opuestas, porque si  $B$  fuera misteriosamente mayor, el barco se elevaría materialmente sobre el agua; y si lo fuera  $G$ , ocurriría lo contrario.

El croquis 1 de la Fig. 65 muestra un yate ideal en reposo. Las posiciones de  $G$  y  $B$  están señaladas. El croquis 2 muestra el barco escorando en un ángulo aproximado de 25 grados.  $G$  sigue estando en la posición anterior, sobre la línea de crujía y a determinada altura por encima de la quilla, pero  $B$  se ha desplazado para convertirse en el centro de la superficie de la nueva forma sumergida escorada.

El punto en el que la vertical que pasa por  $B$  corta la línea de crujía del barco está señalado con  $M$ , y se denomina **metacentro**; la distancia entre  $G$  y  $M$  es la altura metacéntrica. Ésta es una medida de estabilidad, pero otra mejor es la longitud del brazo de adrizamiento,  $GZ$ . Éste se denomina palanca de adrizamiento y se utiliza frecuentemente en los diagramas de estabilidad, sobre los cuales hablaremos enseguida. Si la longitud de la línea  $GZ$  se multiplica por el desplazamiento del barco en toneladas, libras, kilogramos o lo que sea, el resultado se denominaría **momento de adrizamiento**.

Volviendo al croquis 2, podemos ver que las fuerzas que se oponen y que pasan por  $G$  y  $B$  actúan de tal manera que adrizan el barco y, de este modo, actúan como lo que se denomina **par de adrizamiento**. Conviene destacar que si  $G$  estuviera situado a mayor altura sobre la quilla que la posición indicada,  $GM$  sería menor,  $GZ$  sería más corto y el par de adrizamiento menos potente. Un barco de la misma forma que el que contemplamos, pero con menos lastre, con superestructuras más pesadas, con perchas más sólidas o, posiblemente, con un motor más ligero, tendría un  $G$  más alto, para conferir una respuesta más lenta frente a la escora.

Los croquis 3 y 4 muestran el barco en sucesivos y mayores ángulos de escora (78 y 150 grados). En ambos casos,  $M$  aún está situado por encima de  $G$  y todavía existen pares de adrizamiento, aunque sólo en el último caso. Si el ángulo aumentara unos cuantos grados más, la embarcación podría adrizarse sola desde cualquier ángulo de escora, y se denominaría autoadrizante.

En la Fig. 66 están trazados éstos y otros brazos de adrizamiento ( $GZ$ ) en pies o en metros, frente a los ángulos de la quilla, lo que se denomina **curva de estabilidad** o curva de brazos de adrizamiento.

De nuevo en la Fig. 65, el croquis 5 muestra el barco escorado alrededor de 150 grados, igual que en el croquis 4, pero con  $G$  situado más arriba, señalado como  $G_1$ , para demostrar lo que sucede cuando se deja que  $G$  suba demasiado. Ahora  $M$  está por debajo de  $G_1$  y lo que era un par de adrizamiento positivo,  $GZ$ , se ha transformado en un par de vuelco. Las fuerzas opuestas

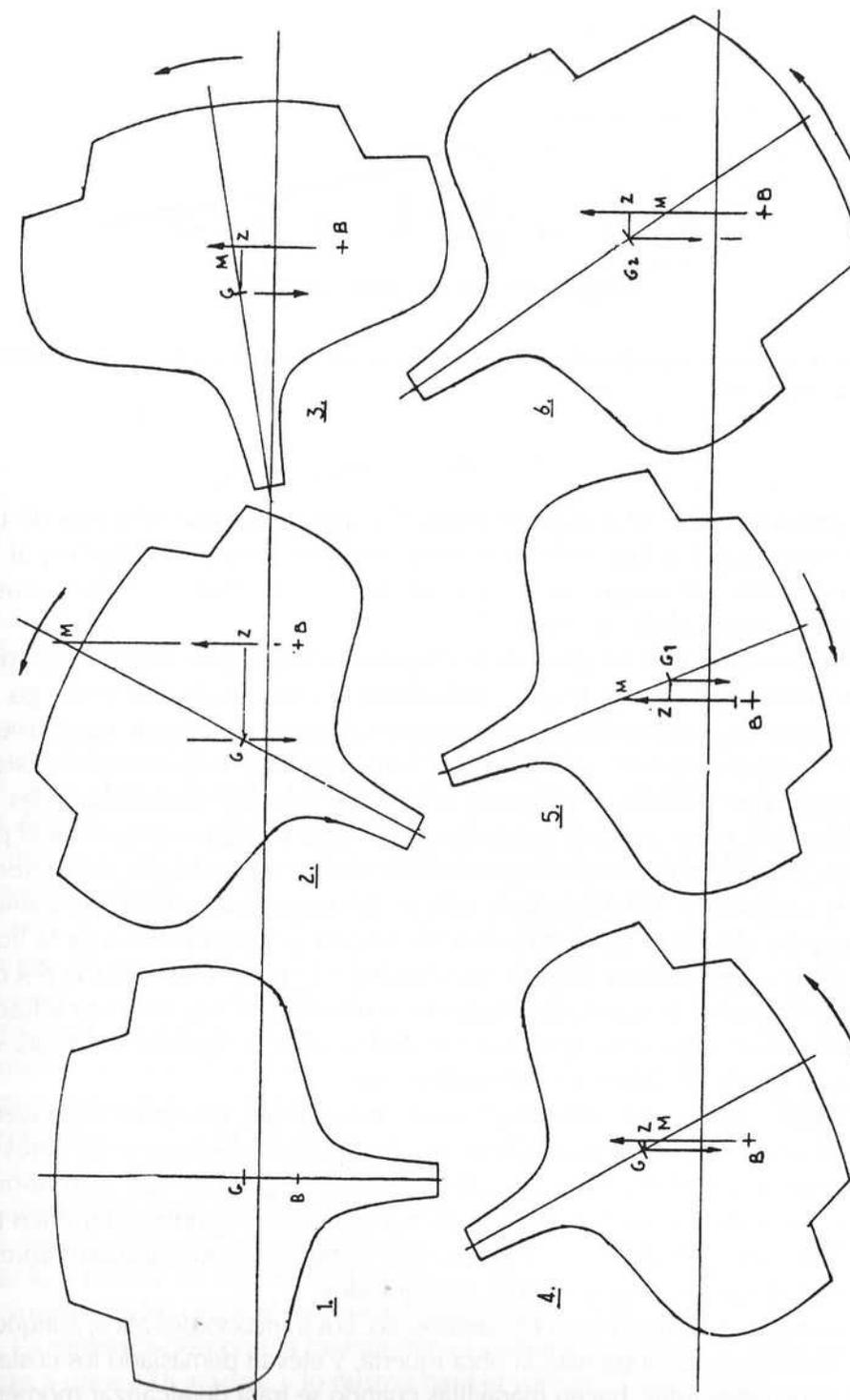


Fig. 65. Casco de una embarcación con ángulos de escora diferentes mostrando las posiciones de los centros de gravedad y de carena ( $G$  y  $B$ ) en todos los casos.

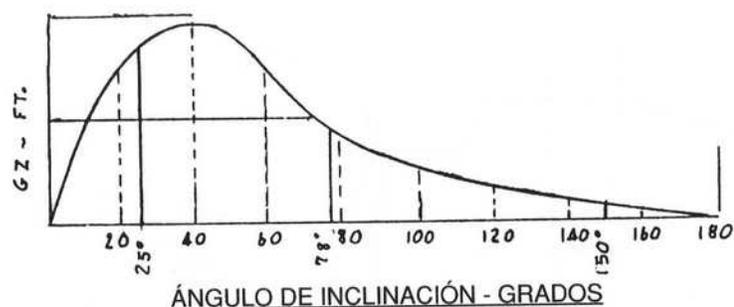


Fig. 66. Curvas de brazos de adrizamiento (GZ) trazados frente a los ángulos de escora, del yate de la Fig. 65.

que pasan por  $G_1$  y  $B$  actúan de tal modo que hacen que el barco dé una vuelta de campana. Esto es lo que ocurre en la mayoría de los barcos; al llegar a determinado ángulo de escora, las fuerzas cambian de lado y conspiran para volcar la embarcación.

En el croquis 6 se ha añadido al mismo casco una superestructura; como consecuencia, el centro de gravedad, ahora  $G_2$ , ha subido. Sin embargo, todavía existe un par de adrizamiento, porque el barco está flotando parcialmente sobre la superestructura, con  $B$  en una nueva posición más ventajosa. Éste es el croquis que se utiliza en algunas lanchas de salvamento para hacerlas autoadrizantes. Una caseta de cubierta más amplia y estanca soluciona el problema, pero debe combinarse con ventiladores y tomas de aire del motor de cierre automático. De modo que, quizás, las espaciosas casetas de cubierta sirvan para algo más que para tomar té con pastas, resguardados de la lluvia y el viento. Los balones, sujetos con cinchas a la parte más elevada del casco o de la superestructura, desempeñan la misma función. Una vez inflados, convencen al barco para que flote tan arriba sobre el agua cuando está volcado, lo que lo convierten en autoadrizante.

Según parece, y tal como hemos visto hasta ahora, un centro de gravedad bajo es una buena cosa, y, de hecho, si comparamos dos barcos similares cuyos  $G$  se encuentren a diferente altura, el que tenga el  $G$  más bajo normalmente contará con un mayor brazo de adrizamiento máximo, y también tendrá una mayor estabilidad. Es decir, que aunque no sea autoadrizante, se adrizará desde ángulos de escora más grandes.

Lo mismo ocurre al elevar el francobordo. Los francobordos altos, aunque no son deseables pues aumentan la obra muerta, y elevan demasiado los costados y las superestructuras, hacen maravillas cuando se trata de alcanzar momentos máximos de autoadrizado y mayor estabilidad. Esto se produce a menos que  $G$  suba demasiado en concordancia. Por lo tanto, debe diseñar las casetas de gobierno y demás lo más ligeras posible, proporcionadas con la solidez adecuada.

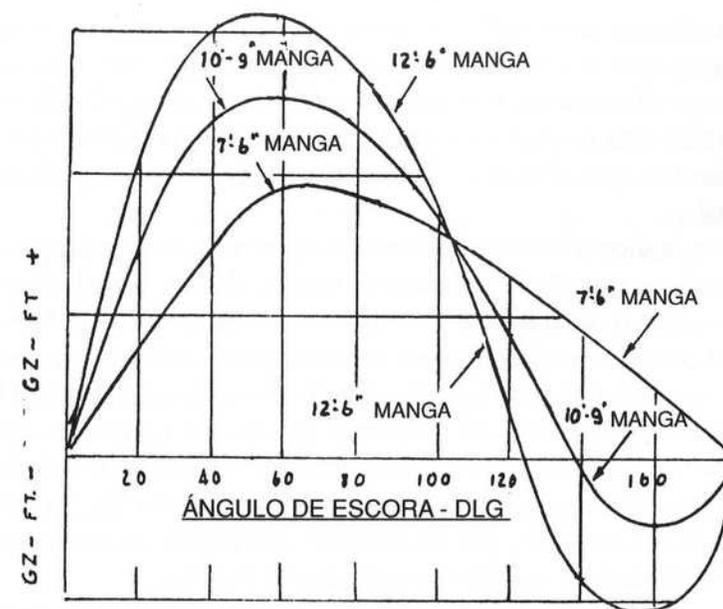


Fig. 67. Tres yates de 33 pies (10 m) de eslora con diferentes mangas, mostrando el efecto que esto tiene sobre la estabilidad. Sólo el más estrecho es autoadrizante.

¿Y qué sucede con la manga? ¿De qué modo afecta al conjunto? La Fig. 67 arroja cierta luz sobre el tema. Podemos ver las curvas de las palancas de adrizamiento de tres yates de 33 pies (10 m) de eslora y 4,5 toneladas de desplazamiento, pero con mangas de 12 pies y 6 pulgadas (3,8 m), 10 pies y 9 pulgadas (3,3 m) y 7 pies y 9 pulgadas (2,4 m). Hay que resaltar que las curvas se extienden por debajo de la línea base en los dos yates con más manga. Tal como hemos mencionado, lo mismo que existen brazos de adrizamiento positivos que intentan restaurar la posición erguida de un barco, existen otros negativos, o brazos de vuelco, cuya acción es volcar el barco por completo. Esto es lo que hacen las palancas por debajo de la base. Está claro que cuanto más grande sea la manga, más «duro» será el barco, inicialmente con buenos brazos de adrizamiento. Así, con una manga de 12 pies y 6 pulgadas, el brazo de adrizamiento,  $GZ$ , con un ángulo de escora de 60 grados, es de alrededor de 3 pies; con una manga de 10 pies y 9 pulgadas, éste habrá disminuido a 2 pies y 6 pulgadas; y con una manga de 7 pies y 9 pulgadas, será menor de 2 pies. Esto es lo que esperamos, pero mire los ángulos de vuelco, en los que  $GZ$  se convierte en negativo y actúa para volcar el barco. La embarcación con la manga mayor volcará si escora en ángulos superiores a unos 125 grados, y lo mismo hará el yate de 10 pies y 9 pulgadas con ángulos de unos 140 grados, mientras que la embarcación más estrecha tendrá un brazo restaurador positivo en cualquier ángulo de escora. Se supone que  $G$  está a la misma altura en todos los modelos.

Ésta es la secuencia normal de los hechos. Siendo iguales todas las demás cosas, un barco con mucha manga será más duro que otro rival similar, y aguantará mejor el trazo sin una escora excesiva. Pero en el último análisis y en el caso de vuelco total, el barco más estrecho probablemente logrará adrizarse, mientras que el más ancho puede que permanezca volcado y con la quilla al sol.

Todos los cálculos sobre estabilidad presuponen que el casco y la superestructura son estancos en todo momento y con cualquier ángulo de escora. El goteo de agua que pasa por las escotillas o a través de un ventilador no demasiado bien cerrado no debe estropear las cosas excesivamente, pero el hecho de dejar una escotilla o un portillo abierto con toda probabilidad hará que desaparezca cualquier potencial que tenga el yate para autoadrizarse.

Con motivo de algunos vuelcos espectaculares que han sufrido importantes navegantes mientras participaban en regatas oceánicas, ha aumentado el interés por la estabilidad y por el modo de calcularla sin tener que molestarnos y gastar dinero en realizar complicados cálculos.

Una recomendación sobre este tema es que si la fórmula siguiente da como resultado una cifra de 2,0 o superior, el yate puede considerarse potencialmente poco seguro navegando en alta mar.

$$\frac{\text{Máxima manga en pies}}{\sqrt[3]{\text{desplazamiento en } \frac{\text{libras}}{64}}}$$

En el caso de un yate de tipo medio, por ejemplo de 35 pies (10,7 m) de eslora en la flotación, con una manga de 12 pies y 7 toneladas de desplazamiento, el cálculo será el siguiente:

$$\frac{12}{\sqrt[3]{7 \times \frac{2.240}{64}}} \text{ lo que es igual a } \frac{12}{6,25} \text{ o } 1,92$$

Por lo que es adecuado para navegar en alta mar.

Los criterios sobre estabilidad pueden adoptarse antes de abordar las generalidades, utilizando el método experimental de Blom (que no es demasiado complicado).

Se corta una serie de secciones completas (no medias secciones) con diferentes ángulos de escora en cartón delgado. Pueden ser ángulos de 30, 60 y 90 grados. La forma de cada serie puede sacarse del plano de formas. Se deja un amplio margen por encima de la línea de flotación inclinada para el posterior trimado.

Se corta otra serie de secciones para el barco en posición adrizado. En todas las series hay que señalar la línea de crujía y la eslora en la flotación (LWL). Después se pega cada serie aplicando una capa delgada y uniforme

de cola con las secciones en el orden adecuado y con las líneas de crujía y LWL bien alineadas. Después se reduce cada serie de forma paralela a la línea de agua con una navaja afilada, hasta que pese lo mismo que el grupo adrizado, sin escora. Entonces, el desplazamiento será el mismo en cada serie, lo mismo que debe ocurrir en la práctica en el barco a tamaño real.

A continuación cuelgue cada serie por las esquinas opuestas y marque la línea con una plomada desde ambas esquinas. La intersección de ambas líneas indica la posición del centro de gravedad del conjunto, que también es el centro de carena B. Trace una vertical que pase por este punto, y el lugar en que corte a la línea de crujía será el metacentro, M. El método para hallar G, el centro de gravedad vertical, ya fue explicado al principio de este apartado al tratar sobre la estabilidad. Una línea vertical trazada desde G cortará la línea que va de B a M en algún punto, Z. GZ es entonces el brazo de adrizamiento y puede ser sacado de cada grupo de secciones para dar la cifra de ese ángulo de escora concreto. Después ya se puede trazar una curva de brazos de adrizamiento que será bastante precisa, y que indicará el ángulo en el que el barco, teóricamente, volcará.

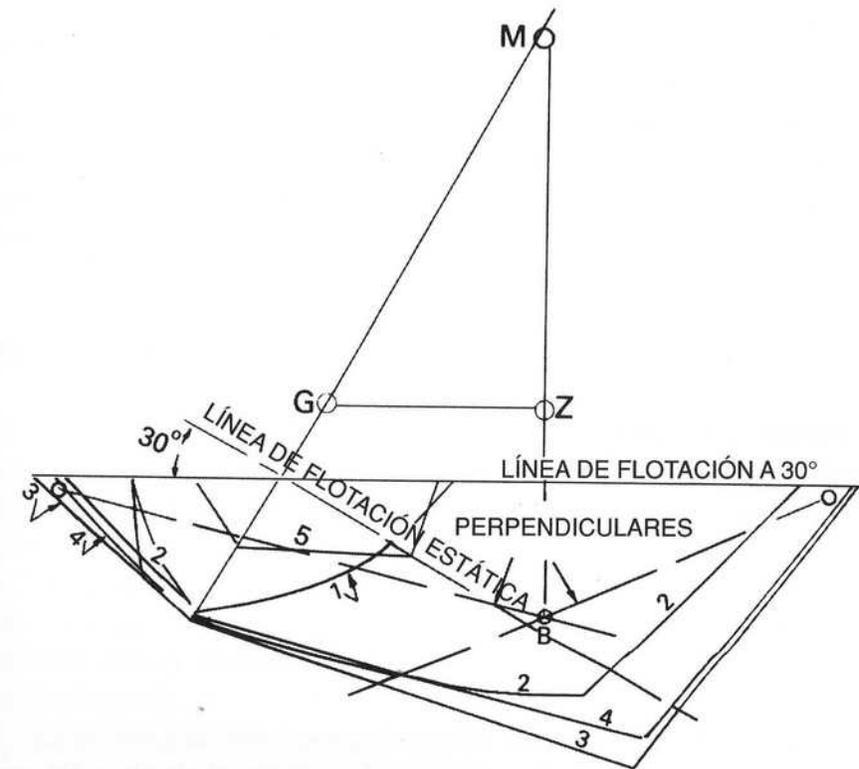


Fig. 67a. Método experimental de Blom para hallar el centro de carena vertical, el brazo de adrizamiento y la altura metacéntrica, GM, en un casco de pantoque doble inclinado en un ángulo de 30 grados.

## 8. Observaciones adicionales sobre diseño

---

Por último, unas cuantas observaciones aleatorias sobre temas que realmente no pueden clasificarse como de diseño de barcos, pero que deben tenerse en cuenta al llevar a cabo esta actividad. El alojamiento, por ejemplo; si dibujar un barco de crucero es algo pesado, por decir algo, lo peor es descubrir más tarde a lo largo del proceso que la tan esperada distribución simplemente no encaja en el espléndido casco que reposa en el tablero de dibujo.

### Alojamiento

Es preciso plasmar las ideas en un boceto en el primer borrador del plano de formas para comprobar que todo es potencialmente correcto. En esta fase, hay que pensar también en la ubicación de los mamparos principales. Deben colocarse: bien separados de las cuadernas –pues en otro caso puede ser difícil encajarlos–; en el lugar de una cuaderna que puedan sustituir, o junto a una a la que vayan a ir fijados. Esto último suele ser normal en la construcción de acero y de aleación de aluminio, cuando se emplean mamparos de contrachapado.

La primera acción necesaria al planificar la distribución es dibujar la línea del suelo de la cabina sobre el plano de formas a una altura considerable. A partir de ahí, podemos calcular la anchura del suelo de la cabina, teniendo en cuenta que las cuadernas pueden invadir de modo significativo el espacio aparentemente libre.

Si las cosas se complican demasiado, el suelo puede subirse hacia la proa, para aprovechar el hecho de que cuanto más alto esté más ancho será, y que la cubierta probablemente también subirá para no desaprovechar altura bajo baos. Es preferible tener este suelo combado a que haya escalones con los que se pueda tropezar. El suelo también puede tener una sección ligeramente cóncava, para dejar más espacio libre en altura sobre su punto más bajo.

Las superficies de trabajo deben tener una altura de 3 pies (0,9 m) por encima de la base y las literas pueden tener 2 pies (0,6 m) de ancho a la altura de los hombros y disminuir en cuña hasta 1 pie y 6 pulgadas (0,45 m) a los pies. Las de los adultos deberán tener al menos 6 pies y 6 pulgadas (2 m) de largo. Si se va a disponer de literas arriba y abajo, o en el caso de literas para la guardia, debe dejarse no menos de 1 pie y 9 pulgadas (0,53 m) de espacio para darse la vuelta encima del colchón. Es necesario un espacio libre de 2 pies (0,6 m) entre obstáculos tales como las superficies de trabajo, armarios y mamparos. Estudie los catálogos de las tiendas de efectos navales que indican los tamaños de las cocinas, fregaderos, aparatos sanitarios, lavabos y demás, y no cometa el error tan frecuente de colocar los lavabos debajo de la cubierta lateral. Es cierto que ahí ocupan poco espacio, lo cual está muy bien, pero también que resultan inútiles.

La Fig. 68 muestra varias alturas de asientos con diferentes ángulos de inclinación. Así, si uno es ligeramente reclinable, se puede salir del paso con 3 pies y 2 pulgadas (0,96 m) de espacio en altura bajo la cubierta; pero si se va a utilizar una mesa para comer, se necesitará más, 4 pies y 8 pulgadas (1,42 m). El tercer boceto muestra otra posibilidad; hay que destacar que la altura hasta la parte alta del almohadón del sofá y la inclinación del respaldo tienen que ser diferentes en cada selección.

Está claro que la mejor manera de estudiar la distribución del alojamiento es echar un vistazo a los barcos existentes o, en el caso de que no podamos, analizar cuidadosamente los planos de alojamiento que suelen aparecer en las revistas náuticas. Como regla general, no intente ser demasiado ambicioso. Un alojamiento sencillo y despejado generalmente es mejor que otro abarrotado y sobrecargado.

### Brusca

Existen al menos cuatro maneras de dibujar la curva de la brusca, formada por el corte de la cara superior de los baos de la cubierta. Los baos curvos fomentan la rigidez en la cubierta, hacen que ésta desagüe rápidamente y permiten más espacio libre debajo; de este modo no es necesario subir los lados de la cabina, que es la alternativa. Estas dos maneras son:

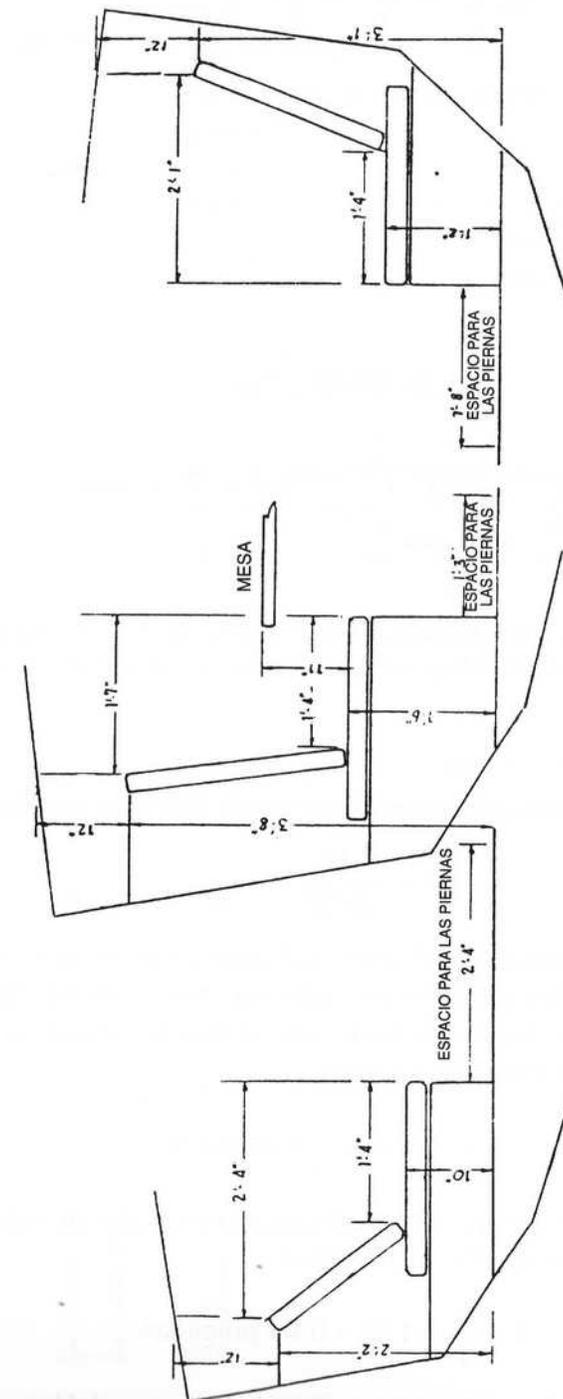
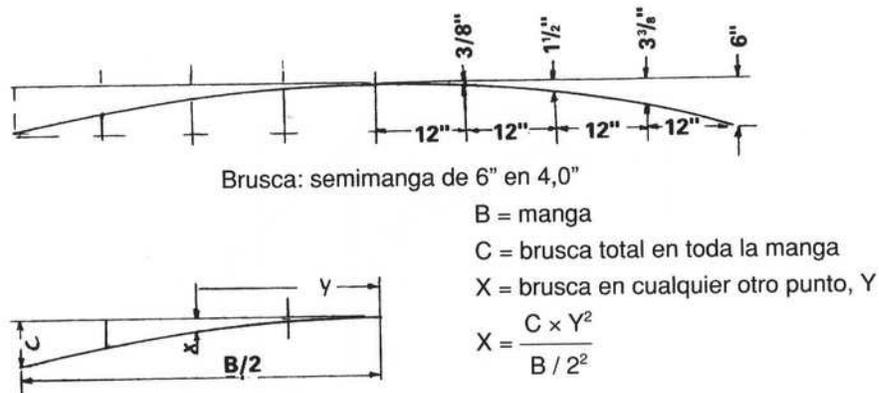


Fig. 68. El espacio mínimo por encima de la cabeza está dictado por la altura del sofá situado sobre la cubierta inferior y por el ángulo de su respaldo.



**BRUSCA PARABÓLICA**

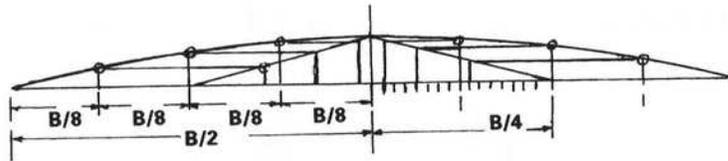


Fig. 69. Dos métodos para trazar la curva de la brusca. El de arriba es un croquis matemático. El otro es más un ejercicio de dibujo, aunque consigue los mismos excelentes resultados.

El primer método es un croquis matemático. Hay que emplear la fórmula

$$X = \frac{C}{(B/2)^2} \times Y^2$$

Para hallar X, el curvado del bao en cualquier punto, Y; conociendo la manga del barco y la brusca total. Por ejemplo, una brusca de 4 pulgadas en una manga de 7 pies, o en el caso del dibujo, una brusca de 6 pulgadas en una manga total de 8 pies. Sustituya las cifras en:

$$X = \frac{6}{4^2} \times 2^2 = 1,5 \text{ pulgadas}$$

suponiendo que queremos conocer el curvado en 2 pies de manga.

A 1,5 pies de manga, el curvado sería:

$$X = \frac{6}{4^2} \times 1,5^2 = 0,84 \text{ pulgadas.}$$

El segundo método es el siguiente. Divida la manga del barco en dos partes iguales a partir de la línea de crujía. Marque la línea de brusca deseada en la vertical que pasa por la semimanga. A continuación subdivida la cuar-

ta parte de la manga en dieciséis partes iguales y trace una diagonal desde la brusca deseada sobre la vertical que baja hasta la división de la cuarta parte de la manga. Utilizando las dieciséis subdivisiones, levante verticales a través de las divisiones 1, 4 y 9 y llévelas hasta la diagonal. En estas intersecciones, trace líneas horizontales hasta las divisiones de una octava parte de la manga. Dibuje la curva que una dichos puntos y ya tiene la curva de la brusca. La Fig. 69 representa ambos croquis. El último no es tan complicado como parece sobre el papel.

**Candeleros y amuradas**

Para estar tranquilo en la mar, las amuradas están al principio de la lista de prioridades. Pueden tener una altura de 1 pie (0,3 m) y ser barreras muy sólidas y eficaces contra el agua. Al mismo tiempo sirven para que los candeleros puedan afianzarse de un modo más seguro de lo que normalmente es posible en los barcos de PRFV y de madera. Por supuesto, en los barcos de acero y de aleación, los candeleros pueden soldarse directamente a la cubierta, que tendría que resquebrajarse antes de que los candeleros cedieran.

**Amuradas**

Las amuradas no deben retener el agua en la cubierta, por lo que necesitan tener aberturas. Lloyds facilita la siguiente fórmula para calcular la superficie

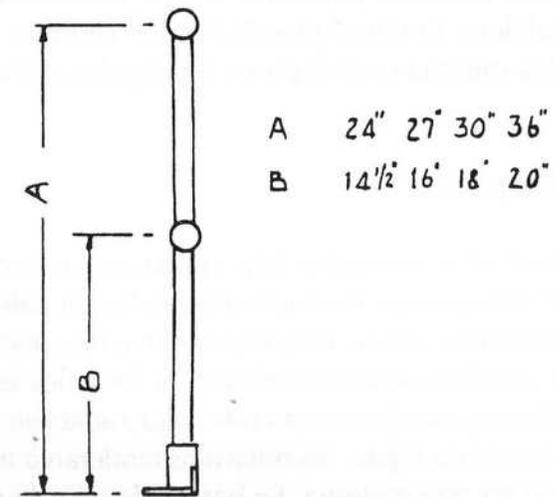


Fig. 70. Los candeleros pueden estar pintados con epoxy o bien ser de acero dulce galvanizado, de aleación de aluminio o de acero inoxidable. No hay que despreciar el acero dulce, pues es barato, resistente y fácil de fabricar.

de abertura por lado en m<sup>2</sup>. Esto se refiere a los imbornales, tubos de imbornales y desagües de la bañera, suponiendo que las amuradas formen un pozo, tal como hace la bañera:

$$A = 0,01 \times l \times h + 0,035 \times l \times h^2$$

donde A es la superficie de la abertura por lado en m<sup>2</sup>; l es la longitud de la amurada (o de la bañera) en metros; h es la altura de la amurada (o la profundidad de la bañera) en metros. De modo que si una amurada tiene, por ejemplo, 9 m de largo y una profundidad de 0,5 m, la superficie necesaria del imbornal de la cubierta por lado sería:

$$A = 0,01 \times 9 \times 0,5 + 0,035 \times 9 \times 0,5^2$$

$$= 0,045 + 0,079$$

$$= 0,124 \text{ m}^2 \text{ o } 1,33 \text{ pies cuadrados o } 191,5 \text{ pulgadas cuadradas}$$

Esta superficie podría distribuirse en forma de hueco entre el fondo de la amurada y el borde de la cubierta, a lo largo de toda la eslora o en forma de falucheras o desagües repartidos por la misma.

### Candeleros

Los candeleros pueden colocarse con una separación de hasta 6 pies (1,8 m) aunque es mejor colocarlos a 4 pies (1,2 m) de distancia si son resistentes y siguen el contorno del borde de la cubierta muy juntos. La Fig. 70 muestra las alturas típicas de los candeleros, junto con las alturas adecuadas del cáncamo central. Un candelero de sólo 2 pies (0,6 m) de altura es un mal apaño, ya que altura práctica mínima es de 2 pies y 3 pulgadas (0,7 m).

### Inclinación de los palos

Todos los palos deben estar inclinados hacia popa para proporcionar un aspecto agradable. En los aparejos de dos (o tres) palos, el palo de proa debe ser el más recto, y los demás deben tener más inclinación, pues de otro modo parecerá que están apoyándose uno en el otro. Si los palos están muy inclinados, aunque en algunos aparejos tengan un aspecto atractivo, cuando el barco esté navegando con brisa ligera, las botavaras tenderán a inclinarse hacia dentro, lo que puede ser una molestia. En barcos de un solo palo, éste puede tener una inclinación de 1:35, mientras que en los queches, yoles y barcos similares, el palo principal puede tener una inclinación de aproximadamente 1:25.

### Conclusión

Al reunir mis observaciones finales en este capítulo, me veo asaltado por preguntas como: ¿Qué otros aspectos o información adicional podría añadir? Pero espero haber proporcionado al lector interesado suficiente información básica que le permita comenzar su propio proyecto y trabajar en un diseño hasta tal punto que consiga un razonable y buen rendimiento navegando a motor o a vela. Con lecturas posteriores podrá tratar con detalle los temas más delicados.

El diseño de yates se ha convertido actualmente en un buen negocio de alta tecnología y los diseñadores emplean los ordenadores como ayuda en sus cometidos. De todas formas sólo emplean los mismos procesos de diseño que se describen en este libro con mayor rapidez y de forma más cara, pero probablemente no con mejores resultados que los que obtiene el diseñador encaramado a un tablero de dibujo con un bloc de notas y una simple calculadora al lado.

De modo que, si se siente inspirado para diseñar su propio barco, anímese e inténtelo. Obtendrá una enorme satisfacción e interés en el proyecto. Pero recuerde: debe ser lo más exacto posible en las medidas y cálculos, y realizar un diseño sencillo.

## Glosario

**Amuradas.** Continuación de los costados del buque por encima de la cubierta principal. Pueden prolongarse formando la misma inclinación, en vertical o con cierto recogimiento de costados.

**Ángulo de afinamiento.** Ángulo que las líneas de agua de la proa forman con la crujía por su extremo de proa. Por lo general, el ángulo de la línea de máxima carga (*lwl*, *load waterline*) se utiliza para fines comparativos.

**Astilla muerta.** También denominada «elevación del fondo», es el ángulo que forma el fondo con la horizontal situada en la crujía vertical, en algún punto concreto. Así, la astilla muerta en el espejo será menor que la astilla muerta en la «sección maestra».

**Borda.** Elemento resistente más longitudinal de un casco de cuadernas de madera y aquel al que va clavada la cubierta por el costado. También se denomina «bao de la cubierta», lo que es una buena descripción de su situación.

**Brusca.** Curvatura o forma cóncava que se da a la cubierta, de tal modo que es más elevada por el centro que en los costados, principalmente para reforzar la cubierta. En los barcos pequeños, sirve también para dejar debajo más espacio libre, con menos impacto visual que si se elevaran los lados de la cabina. La curva de brusca es normalmente el arco de un círculo muy grande, aunque puede sustituirse con curvas parabólicas.

**Centro de carena (lcb).** Centro de la superficie del volumen sumergido del barco, cuya situación se especifica longitudinalmente por *lcb* (*longitudinal centre of buoyancy*) y verticalmente por el centro de carena vertical (*vcb*, *vertical centre of buoyancy*).

**Centro de deriva (CLR).** Es el centro de la superficie del casco sumergido visto de perfil. Las siglas CLR responden a *centre of lateral resistance*.

**Centro de gravedad longitudinal (lcg).** Centro global del peso del barco, incluido el motor, los depósitos de combustible, las anclas, etc. El *lcg* (*longitudinal centre of gravity*) debe estar situado en la misma línea del *lcb* cuando el barco está bien trimado. El *vcg* (*vertical centre of gravity*) también se encuentra por medio de cálculos, cuando se va a utilizar en cálculos sobre estabilidad.

**Centro vélico (CE).** Es el centro de la superficie del plano vélico en su conjunto. Las siglas CE responden a *Centre of effort*.

**Coefficiente de bloque.** Relación entre el volumen sumergido del casco y el producto de la longitud, anchura y calado del bloque que lo circunscribe. Es decir:

$$C_b = \frac{\text{Desplazamiento} \times 35}{L \times M \times C}$$

en agua salada. El desplazamiento se expresa en toneladas y las demás medidas en pies. En el caso de agua dulce, se utiliza 35,9 en lugar de 35 en la línea superior. El coeficiente de bloque puede utilizarse en un primer cálculo sobre el calado. Cuanto más alto es, más voluminoso será el barco. En barcos de pantoque redondo lo normal es un coeficiente de 0,32; en barcos de doble pantoque, 0,34, y para modelos de pantoque sencillo, 0,38.

**Coefficiente de plano lateral.** Relación entre la superficie del perfil sumergido, incluyendo el timón, pero sin contar la orza, y el rectángulo que lo circunscribe. Es decir, la eslora en la flotación multiplicada por el calado máximo.

**Coefficiente prismático.** Es la relación entre el volumen del casco sumergido y la su-

perficie de la «sección maestra», multiplicada por la eslora en la flotación. Esto indica la distribución longitudinal del desplazamiento. Un coeficiente pequeño sugiere que el desplazamiento está concentrado alrededor de la «maestra» con extremos finos. Y un coeficiente alto implica justo lo contrario: una sección maestra pequeña y extremos más amplios. El coeficiente es

$$\frac{\text{Desplazamiento} \times 35}{L \times A_m}$$

donde L es la eslora en la flotación y A la superficie de la sección maestra.

**Corte transversal.** También denominado vista en sección. Las medias secciones del barco (las secciones situadas a un lado de la línea de crujía) están trazadas sobre una línea de crujía, normalmente la de la «sección maestra».

**Curva de superficies.** Desde la línea de crujía se trazan las superficies de las secciones sumergidas en diferentes lugares a lo largo de la eslora del barco, y después se dibuja una curva uniendo todos los puntos. La superficie situada debajo de la curva representa el volumen del desplazamiento y su centro de superficie longitudinal estará en el mismo punto que el centro de carena (lcb) del casco.

**Desplazamiento.** Se expresa en peso o volumen, y es el peso o volumen del agua desalojada por el barco. Debe ser igual al peso físico del propio barco para que flote en la línea de flotación prevista.

**Diagonales.** Los cortes longitudinales a través del casco que forman ángulo con la crujía se denominan diagonales. Se utilizan principalmente para corregir los dibujos de un plano de formas y añadir las longitudinales y líneas de agua empleadas para el mismo fin. El ángulo en el que se traza la diagonal y el punto de la línea de crujía desde el cual se dibuja ya están determinados.

**Ensanchamiento de costados.** Curva hacia el exterior de los costados de un barco por

encima de la línea de flotación. Tiene por objeto desviar el agua hacia afuera, que de otro modo entraría a bordo, por lo que contribuye a su estanqueidad. También aumenta la flotación, al contrario que en los barcos con los costados rectos, y disminuye el cabeceo.

**Francobordo.** Es la distancia vertical entre la línea de flotación y la parte alta de la cubierta en los costados.

**Líneas de agua.** Cortes horizontales, longitudinales, dibujados en el casco. En un plano de formas, aparecen como líneas rectas paralelas a distancias concretas en la vista de perfil y como líneas curvas en la vista en planta.

**Longitudinales.** Cortes longitudinales o verticales dibujados en el casco, paralelos a la línea de crujía proa-popa y a distancias concretas de dicha línea.

**Palanca.** Aplicada al cálculo sobre el desplazamiento o el peso, es la distancia entre un punto fijo y el centro de la superficie o peso.

**Pantoque vivo.** El cambio brusco de forma entre los costados del barco y el fondo se denomina quiebro o pantoque vivo. Se presenta principalmente en los barcos rápidos de motor y su objetivo es echar el agua hacia afuera para que no moje los costados y origine una mayor superficie mojada. También se encuentra en los barcos fáciles de construir con materiales en planchas, como el contrachapado o el acero.

**Planeo.** Se dice que un barco planea cuando la sustentación dinámica comienza a desarrollarse y se produce de manera progresiva a partir de una simple reacción de flotación. Esto tiene lugar con un coeficiente de velocidad/eslora de 3 a 3,5. En una embarcación de 25 pies en la línea de flotación, esto significaría una velocidad de 15 a 17,5 nudos. Al planear, un casco con el pantoque de la forma adecuada navega con la parte inferior del

pantoque mojada, aunque los costados y el espejo permanezcan secos.

**Plano de formas.** La forma del casco de una embarcación visto desde tres planos distintos: perfil, perspectiva (mirando el barco desde arriba) y seccional (o plano de secciones). Normalmente sólo se dibujan medias secciones, es decir, las secciones situadas a un lado de la línea de crujía.

**Recogimiento de costados.** Inclínación hacia el interior de la curvatura del casco por encima de la línea de flotación; e inclinación hacia el interior de los lados de la cabina o de la amurada. Es lo contrario del ensanchamiento de costados.

**Redones.** Tracas longitudinales colocadas a lo largo de la carena para desviar el agua de la zona del casco situada por encima de la misma, que sirven para reducir la superficie mojada. Los redanes pueden añadir también cierta resistencia y reforzar el fondo de la estructura.

**Relación de forma.** Aplicada a las velas, timones y orzas, es la longitud del borde de ataque (el grátil, si nos referimos a las velas) elevada al cuadrado, dividida entre la superficie de la vela, el timón o cualquier objeto. Por lo general, un timón con una relación de alargamiento elevada es más eficiente que uno con una relación menor.

**Relación velocidad/eslora.** Es la velocidad en nudos dividida entre la raíz cuadrada de la eslora en la flotación. Es decir

$$\frac{V}{\sqrt{L}}$$

**Resistencia.** Se necesita cierta potencia para empujar un barco por el agua a una determinada velocidad; esta cifra se calcu-

la bien experimentándolo de forma práctica o, en las fases iniciales, remolcando un modelo de la embarcación a la velocidad de su escala para ver qué resistencia tiene que superar para alcanzar dicha velocidad. Finalmente, esta resistencia, expresada inicialmente en libras, se convierte en potencia efectiva y después en la cifra práctica de bhp (*brake horsepower*) o potencia al freno.

**Sección maestra.** Sección transversal situada en la mitad de la línea de máxima carga.

**Superficie mojada.** Cualquier parte del casco de una embarcación, incluyendo las piezas tales como los ejes de la hélice, los timones y demás, que están en contacto con el agua o con los rociones, se denomina superficie mojada. El objeto del pantoque vivo o de las falcas es desviar el agua y los rociones del fondo y de los costados y, al mismo tiempo, reducir la superficie mojada, así como la potencia que se absorbe al navegar a través del agua.

**Tabla de semimangas.** Guía proporcional del plano de formas. Indica, por ejemplo, las alturas por encima y por debajo de la línea de máxima carga, de la cubierta lateral, del pantoque y de las longitudinales; las semimangas desde la crujía, de la cubierta, el pantoque o las líneas de agua (y línea de alefriz en los barcos de madera), así como las medidas desde la crujía hasta las diferentes diagonales.

**Velocidad del casco.** La velocidad que alcanza un barco cuando  $V/\sqrt{L} = 1,3$  o  $1,4$  que es la velocidad máxima posible de la mayoría de los barcos de vela. Un barco con una eslora en la flotación de 25 pies, la alcanzaría a una velocidad de  $V = 1,3$  o  $1,4 \times \sqrt{25}$ . Es decir, de 6,5 a 7 nudos.

# Índice alfabético

Los números en negrita indican los términos citados en el glosario

- Acero, construcción de, 122-127  
Corten, construcción de, 125  
inoxidable, 124
- Adrizamiento, brazo de (GZ), 134, 136-138  
momento de, 134  
par de, 134
- Afinamiento o de finos de proa, ángulo de, 97-98
- Alefriz, línea de, 47-48
- Alojamiento, 141
- Aluminio, construcción de aleación de, 123, 127-128
- Amuradas, **149**
- Aparejos, 99-102
- Arrufo, 10  
en línea recta, 10
- Astilla muerta en barcos de motor, 74, 81-82, **149**
- Barcos de pesca**, detalles, 95-96
- Bentall, E. H. (diseñador), 33
- Bloque, coeficiente de ( $C_b$ ) 14, **149**  
de un bote de 14 pies y 6 pulg., 24, 27
- Bote auxiliar, 24, 26, 27, 28  
de remos/vela, 113-114, 115-116  
perfil de un, 58  
plano de formas de un, 59
- Brazolas, 10
- Brusca, 144-145, **149**
- Calado del casco (D) recomendado, 12-14  
en barco de 20 pies de popa de canoa, 50  
de un doris, 36
- Camper and Nicholson, Lanchas, 80
- Carena, centro de (lcb), 18  
centro de estabilidad (vcb), 133-138  
de barcos de motor, 81  
de un barco de 20 pies de pantoque vivo, 20, 23, 27
- Casco, equilibrio, del, 101, 102, 103, 104, 105  
velocidad del, 72, **151**  
escalonado, 86  
forma del, 33
- Cintas, tablazón de, 122  
en el método de moldeado en frío, 113
- Compases (dibujo), 47
- Cónica, proyección, 63-64
- Contrachapado, 113-114
- Crucero de pesca, 118, 119
- Crucero fluvial, 69-71
- Curvas, plantillas de, 8, 45
- Curvas de superficies, 34, 52, **150**
- Deriva**, centro de (CLR), 65, 103, 104, 105, **149**
- Desplazamiento, 14, **150**  
cálculo para hallar el, 18  
de un barco de 20 pies de pantoque vivo, 20  
de un barco de 20 pies de quilla de alata, 55  
en pies y metros cúbicos, 18  
principio de Arquímedes, 21  
velocidad de, 72
- Diagonales en el plano de formas, 52, 53, **150**
- Doris, 36  
calado del casco (D), 36  
plano de formas de un barco de 20 pies, 35
- Elasticidad, módulo de (E), 110-111
- Empuje (distancia entre el centro de deriva y el centro vélico), 65
- Ensanchamiento de costados, **150**
- Equipo para dibujo, 43-46
- Escalonados, cascos, 86
- Espejo, manga del, 15
- Estribor (remo de gobierno), 10  
*Evolution* (yate), 33
- Ferrocemento, construcción de, 128-129
- Ferry de pasajeros, 87, 88, 89, 90
- Forma, relación de, **151**  
de las velas, 100, 101  
de los apéndices del casco, 106
- Formas, plano de, **151**  
barco de 20 pies, 151  
barco de servicio, 75  
bote, 59  
bote auxiliar de crucero, 57  
bote de remos/vela, 116  
crucero de motor, 78  
crucero de pesca, 61  
crucero fluvial, 71  
doris, 35

- goleta (velas cangrejas), 60, 61
- lancha rápida, 76
- pantoque vivo, 16, 62
- popa de canoa o noruega, 48
- Francobordo, observaciones, 10, 11, 12, **150**
- Fricción, resistencia de, 34, 94, 95, 96
- Galvánicas**, series, 124
- Goleta (con velas cangrejas), 60, 61
- Gravedad, centro de (l<sub>cg</sub>), 25, 27, 29, **149**
  - de un barco de 20 pies, 30
  - en los cálculos sobre estabilidad (v<sub>cg</sub>), 133, 134, 135, 136-138
  - junto con la quilla de aleta en un barco de 20 pies, 39
- Grosor de quillas de alas y timones, 106
  - revestimiento, 104-106
  - tablazón, 110-112, 113
- Hélices**, 87-88
  - de barcos de vela, 107
- Impacto, resistencia al, 111
- Inercia, momentos de, 131-132
- Intervalo común, 18
- Jullanar* (yate), 33
- Junquillos, 43
- Kevlar**, 132
- Lastre, coeficiente de, 14-15
- Líneas de agua (en los planos de formas), 51, **150**
- Listones (junquillos), 43
- Longitudinales en el plano de formas, 52, 53, **150**
- Madera, construcción tradicional de, 117-121
- Manga barcas chatas o doris, 12
  - de planeo, 79
  - estabilidad, 137
  - estrecha, barcos de («plank-on edge»), 33
  - lanchas planeadoras, 81
  - línea de flotación recomendada, 12
- Mat de hilos cortados, 130
- Metacentro y altura metacéntrica, 134
- Moldeado en frío, 117-118
- Momento para cambiar el asiento (MCT), 65
- Ola**, formación de, 72-73
  - longitud de la, 73
  - modelos de barcos que hacen poca, 72

- Olas debidas a la presión, 72
  - resistencia debida a las, 93, 96
- Ordenadas (divisiones de la eslora de flotación), 15
- Orzas, 34
  - superficies de, 40
- Pantoque**, redón de, 79
- Pantoque redondo plano de formas de un barco de 20 pies, 38
  - forma de 33, 36
- Pantoque vivo 16, **150**
  - forma del casco, 33
  - versión del barco de 20 pies, 15, 16
- Paris, J. E. (diseñador), 98
- Peso, cálculos de, 14
  - para un barco de 20 pies con popa de canoa, 48-50
  - para un barco de 20 pies de pantoque vivo, 22-23
  - para un bote auxiliar de 14 pies 6 pulgadas, 24, 25
- Pesos (tablero de dibujo) 44
- Pesos de los materiales de construcción, 22, 110
- Planímetro (para medir superficies), 45
- Plano de formas, modo de dibujar un, 16
- Planta, vista en, 15
- Plumas y lápices, 8, 46
- Popa de canoa o noruega de un barco de 20 pies, 48-51
  - noruega, barcos de, 15
- Popas de túnel, 88-91
- Potencia (al freno), 84, 95
- PRFV (plástico reforzado con fibra de vidrio), construcción de, 129-132
  - con sándwich de espuma, 131-132
  - peso del laminado de la carena, 130, 131
- Prismático, coeficiente, 96-99, 149
  - de barcos de pesca, 97
  - de plano lateral, 99, **150**
  - de un barco de 20 pies, 98
  - de un ferry de pasajeros, 96
  - de yates, 97-98
- Queche** (con aparejo de junco), escantillones, 126, 127
- Quillas de aleta, 38, 104
  - posición del centro de gravedad, 39
- Rayner**, análisis del equilibrio del casco, 103-106

- Redones 82-83, **151**
  - en la carena, 78-79
- Regla a escala, 8
- Rejillas (para planos de formas), 51
- Resina (laminado) poliéster, 130
  - epoxy, 132
  - vinilester, 132
- Resina/fibra de vidrio, proporción de, 109, 130
- Resistencia, **151**
  - de fricción, 34, 95-96
  - debida a las olas, 93, 96
- Rigidez de materiales de construcción de embarcaciones, 111-112
- Sección estructural, bote de vela, 111
- Semimangas, tabla de, 55 58, **151**
  - de un barco de 20 pies, 55
  - de un bote de 14 pies 6 pulgadas, 58
- Servicio, barcos de, 75
- Simpson (SM), Multiplicadores, 18
- Soldadura, 125, 127
- Tablazón a tope, 122
  - en diagonal doble, 122, 123
  - en diagonal larga, 123
- Tablero de dibujo, 43
- Timones, superficies de los, 40

- Tingladillo, construcción de, 120, 121
- Tonelajes, 32
- Trimado durante la navegación, 81-83

Universal Shipyard, lanchas, 81

- V profunda**, 82
- Vélico, centro (CE), 64-67, 103-104, **149**
  - plano, 41
  - de balandros y cúters, plano, 42
- Velocidad, barcos de motor de alta, 72, 74, 76
  - barcos de motor de baja, 69-72
  - barcos de motor de media, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79
  - de desplazamiento, 72
  - de yates a vela, 99
  - predicción en barcos de motor, 83-86
- Velocidad/eslora, relación, 70, 72
- Viento aparente, 101, 102, **151**
  - real, 101, 102

Watson, G. L. (diseñador), 33

WEST®, epoxy, 118-120

Windsurfistas, 80

## OTROS TÍTULOS DE NÁUTICA EN TUTOR:

## Notas

---

**Manual de construcción amateur de barcos**  
(3.ª edición) *Michael Verney*

**Guía completa del mantenimiento y conservación de barcos**  
(2.ª edición) *Michael Verney*

**Puesta a punto del barco**  
*J. D. Sleightholme*

**Bricolage en barcos. Hágalo usted mismo**  
*Reg Minal*

**Motores diésel para embarcaciones de recreo**  
(2.ª edición ampliada y actualizada) *Tim Bartlett*

**El PC a bordo**  
*Rob Buttress y Tim Thornton*

**Nuevo Manual Tutor de Vela**  
(2.ª edición) *Dave Cox*

**El nuevo curso de navegación de Glénans. Nueva edición**  
*Escuela de Navegación de Glénans*

**La navegación a motor**  
(3.ª edición) *Escuela de Navegación de Glénans*

**Las maniobras del velero**  
(7.ª edición) *Escuela de Navegación de Glénans*

**La práctica de la vela ligera**  
(3.ª edición) *Escuela de Navegación de Glénans*

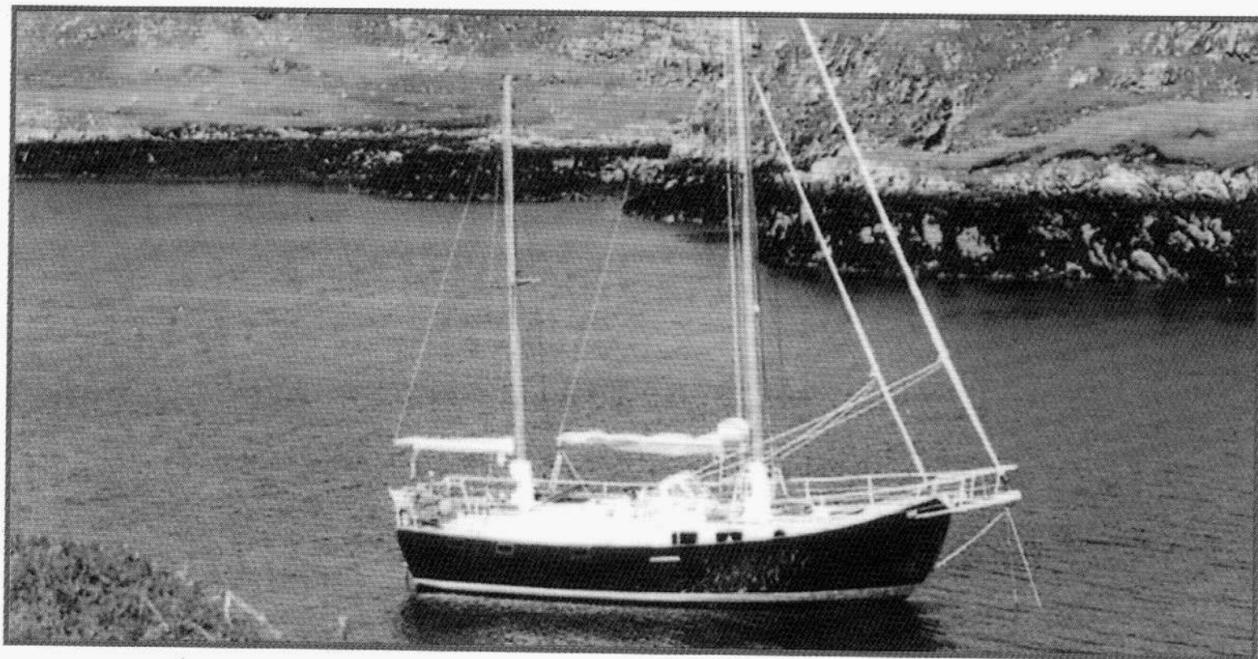
Para más información sobre éstos y otros libros de NÁUTICA publicados por Ediciones Tutor, consulte nuestra página: [www.edicionestutor.com](http://www.edicionestutor.com)

# Cómo DISEÑAR un BARCO

No son necesarios excepcionales conocimientos para poder diseñar un barco, o incluso para dibujar el tipo de embarcación que se desea tener. Este libro, de gran éxito en Gran Bretaña, le guiará paso a paso a través de las distintas fases del diseño de barcos de motor y de veleros, explicándole las bases que respaldan el proceso y utilizando dibujos y reproducciones de planos para ayudarle a comprenderlos. Es, sobre todo, un libro muy práctico que permite, incluso a los diseñadores principiantes, crear el diseño correcto de un barco sin contar con experiencia previa en la tarea.

## El autor

Después de trabajar en Thornycrofts y como Redactor Técnico en *Motorboat & Yachting*, **John Teale** se ha dedicado durante los últimos 40 años a diseñar lanchas rápidas y cruceros a motor, embarcaciones comerciales y yates de recreo, que se construyen en todo el mundo.



Queche de acero de 40 pies (12 m) diseñado por el autor, navegando en las Islas Occidentales británicas.

En portada, John Perry de Portsmouth (Inglaterra) trabajando en un balandro de 20 pies (6 m) de construcción a tope.

Librería de Nautica.com

Aragón 28 baj. 07006 Palma Mallorca. Tel: 971 46 00 01



LCDB-1

15,50€

7