

TEORIA NAUTICA

CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO DE VELEROS

OBJETIVO.

Este artículo pretende ser una guía informativa para todos aquellos que bien quieran diseñar un RG 65 o aquellos que sientan alguna inquietud en conocer como funciona su velero.

Se ha tratado fundamentalmente sobre la carena y algo sobre los apéndices, dejando el tema de velas y jarcia, porque no pretende ser un estudio exhaustivo.

En principio, lo dicho en estas páginas es válido para cualquier velero, pero los datos de estadísticas referentes a superficies de orzas y timones están enfocados a la clase RG65.

1.-SUSTENTACIÓN LATERAL

Debido a la componente perpendicular a crujía de la fuerza del viento en las velas, se precisa una fuerza hidrodinámica que contrarreste en la mayor medida posible esta acción. En la evolución del proyecto de barcos a vela se ha llegado a las actuales carenas con apéndices independientes, cuyo condicionante no solo ha sido el de reducir la superficie mojada total, sino, la consideración de que la participación de la carena en esta labor es poco eficaz frente a la efectuada por la orza y el timón.

El otro condicionante es el de dotar al velero de un centro de gravedad bajo que le permita desplegar la máxima superficie vélica sin producir una escora demasiado grande. Para ello, se dota a muchos veleros de bulbo, que bien diseñados permiten obtener el volumen necesario para alojar el lastre sin añadir una resistencia excesiva.

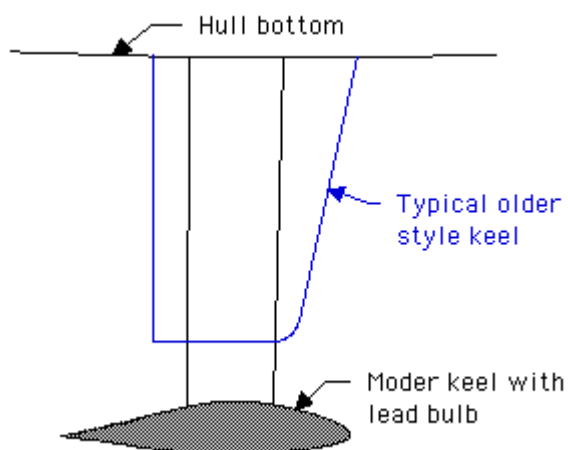


Fig. 1 Orzas

Estadísticas para los RG65:

El área de la orza en la flota de RG65 varía entre 99.8 y 124 cm², la media es de 114.2 cm².

El área del timón varía entre 40 y 58 cm², la media es de 49 cm²

El peso medio del bulbo es de 500 gr.

En un monocasco, la escora se encuentra presente en la práctica totalidad de las posibles condiciones de navegación, provocando un aumento de la resistencia inducida por la carena. Por otra parte, para proporcionar la necesaria sustentación, en rumbos distintos de la popa, al ser la carena y apéndices simétricos, se requiere un ángulo de abatimiento. Aunque en la actualidad es posible mantenerlo en valores bajos (3-5 grados), el aumento de la resistencia al avance debido a este efecto, proporcional al cuadrado del coseno del ángulo de abatimiento, puede alcanzar valores en torno al 15% de la total.

El proyecto de un velero que navegará en condiciones de escora, más o menos acentuada, obliga a prestar atención a minimizar la asimetría de las flotaciones escoradas, así como a buscar la optimización de parámetros definidos en estas condiciones.

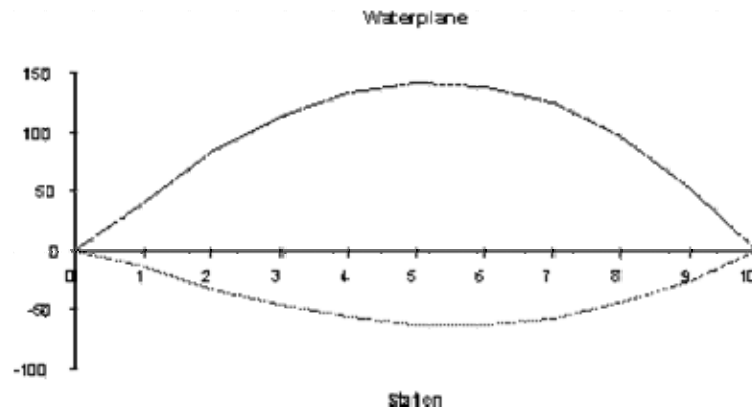


Fig. 1 Flotación escorada Velero 1 (Asimetría pronunciada)

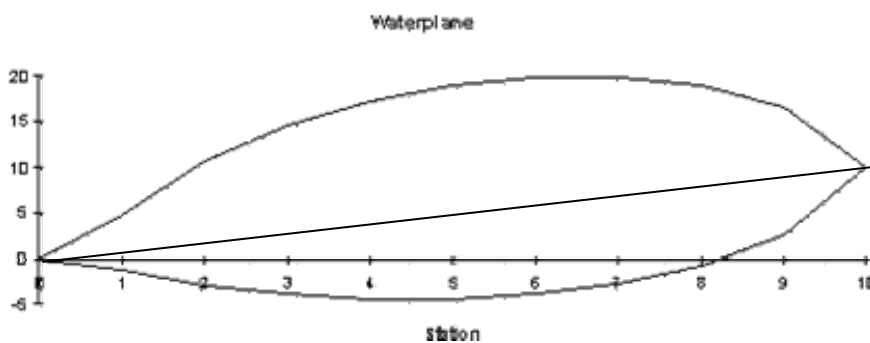


Fig. 2 Flotación escorada Velero 2 (Desplazamiento del eje, asimetría menos pronunciada)

EQUILIBRIO CON EL PLANO VELICO

El par escorante producido como consecuencia de la presión del viento sobre las velas, obliga a dotar al barco de una estabilidad suficiente para contrarrestarlo. Al existir un mero límite en la estabilidad de formas y para proporcionar la adecuada estabilidad a ángulos elevados, se hace necesaria la disposición de lastre que aumente la estabilidad de pesos, con el consiguiente aumento de desplazamiento "inútil". La proporción en que

se repartan ambos tipos de estabilidad total, es función de la filosofía general del proyecto, interviniendo factores diversos, desde el tipo de navegación a los condicionantes de material de construcción y desplazamientos mínimos y otros.

El desplazamiento lateral del centro vélico (CE) con la escora así como la asimetría inevitable de la carena en estas condiciones, obligan a compensar la tendencia a orzar del velero escorado mediante una cierta diferencia de la posición longitudinal de los centros vélico y de resistencia lateral (CRL), llamada "lead". Si bien las posiciones dinámicas de ambos varían con respecto al estático, el valor de esta diferencia o paso, se ha determinado siempre con el barco adrizado, siendo fruto fundamentalmente de consideraciones empíricas. Su valor depende principalmente de los siguientes factores e incrementarán el lead:

- Asimetría de las carenas escoradas, esto es, en primera aproximación, de las relaciones eslora/manga en flotación y manga en flotación/calado del casco. Los cascos con mucha manga tienen flotaciones escoradas más asimétricas, así como los cascos con una relación B/T alta.

- Relaciones de aspecto o alargamiento relativos del plano vélico. Los aparejos con alta relación de aspecto, sufren mayores desplazamientos de sus centros de esfuerzo hacia sotavento con la escora.

- Distribución longitudinal del área lateral. El CRL real de una quilla larga está en torno al 25 % de su cuerda y este se mueve más y más hacia proa cuanto más larga sea la quilla.

- Tipo de aparejo (Sloops con aparejos fraccionados, a tope de mástil, ketches, goletas, etc.)

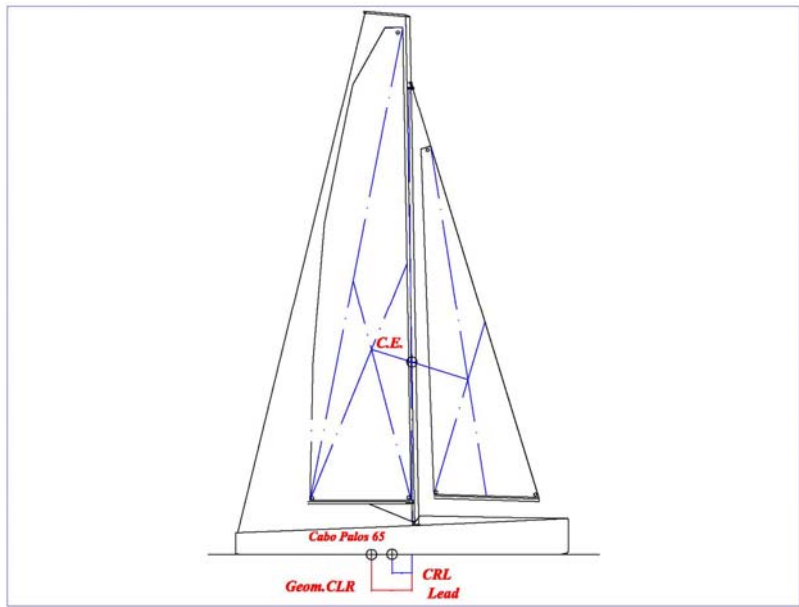
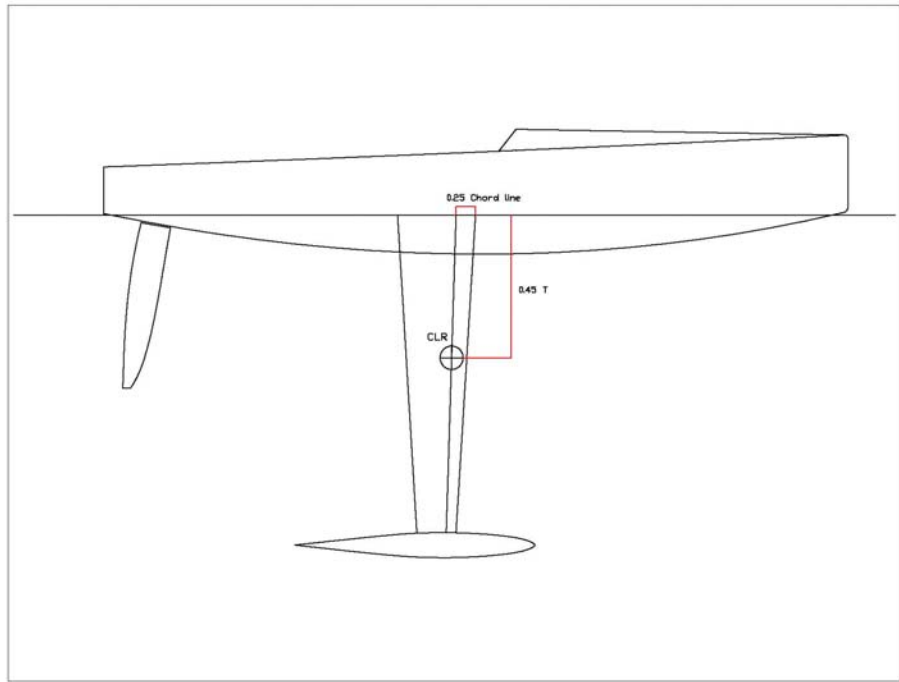
- Estabilidad. A menor estabilidad, mayor será la escora y el CE se moverá más a sotavento.

Para determinar la posición del CRL, hay varios métodos; uno es el *método geométrico* que utiliza las proyecciones laterales de la carena sumergida, orza, bulbo y el timón. El lead se cifra entre el 10-14% de la eslora de flotación para sloops de aparejo fraccionado. Otro método es el propuesto por Nomoto, que aproxima más el CRL estimado con el CRL hidrodinámico.

Y se puede cifrar entre el intervalo del 5 al 9 % de la eslora en flotación para sloops ligeros con aparejo fraccional, según el método que describe Nomoto:

En este método, solo se toma en consideración la orza (orzas de alta relación de aspecto) para hacer el cálculo del Centro de Resistencia Lateral.

Se trata de extender la orza hasta la flotación y conectar mediante una línea los puntos situados al 25% de las cuerdas superior e inferior de la orza, El CRL se hallará en la intersección de esa línea con el 45 % del calado total de la orza (sin bulbo).



2.-COEFICIENTES ADIMENSIONALES

En la fase de concepción de un nuevo diseño, la utilización de coeficientes adimensionales es una ayuda imprescindible, porque además de contar con nuestra propia experiencia y la comparación con otros veleros, nos permite mediante su correcta utilización, adecuar el diseño a los requerimientos específicos del diseño y optimizar los parámetros fundamentales del mismo.

Los coeficientes adimensionales de mayor importancia y su influencia en el comportamiento del velero son:

2.1 Relación Eslora Total/Manga Máxima.

La influencia de este coeficiente en el comportamiento de la carena viene dada por su relación con el correspondiente a la eslora y manga en flotación, dependiente del lanzamiento de los extremos así como del derrame de la sección maestra, por eso es más adecuada la referencia a este último coeficiente.

No obstante, valores bajos de este coeficiente nos indicarán flotaciones escoradas de asimetría pronunciada.

2.2 Relación Eslora Total/Eslora en Flotación.

Este coeficiente expresa la importancia relativa de los lanzamientos de proa y popa. Su valor está relacionado con la distribución longitudinal de pesos del velero.

En veleros ligeros y con pesos centrados, el cabeceo de menor periodo y amplitud permite disminuir el volumen de los lanzamientos y la adopción de secciones en proa con suficiente volumen sobre flotación, también permite disminuir el lanzamiento en esta zona. En el presente se tiende a disminuir el lanzamiento de proa, primando el de popa, más efectivo para lograr el amortiguamiento del cabeceo.

El segundo efecto de los lanzamientos es el de aumentar la eslora dinámica y con ello la velocidad potencial del casco. El límite de velocidad, para cascos no planeantes, debido al aumento de la resistencia por formación de olas, puede cifrarse en torno a un valor de $2.4 \sqrt{Lwl}$. La disposición adecuada de los lanzamientos permite obtener un aumento de la eslora a altas velocidades, manteniendo la eslora limitada, en la gama baja de números de Froude, donde se requiere una menor superficie mojada por ser la resistencia de fricción la componente más importante del total. Aquí, se muestra también más efectivo el lanzamiento de popa al ser posible dotar a las líneas longitudinales de ángulos más tendidos. Para aprovechar al máximo el lanzamiento de popa, a efectos de obtención de eslora dinámica, se debe buscar una altura del espejo de popa que se adapte a la de la ola formada en esta zona. En este aspecto son muy útiles además de la experiencia del diseñador, los ensayos en canal y las herramientas de análisis CFD.

Como tercer efecto, los lanzamientos voluminosos aumentan el desplazamiento lateral del centro de carena con el barco escorado, proporcionando un incremento de la estabilidad de formas.

2.3 Relación Eslora en Flotación/Manga en Flotación

Este coeficiente es uno de los de mayor incidencia en la resistencia a altas velocidades. A relaciones más altas, carenas más afinadas, sufren una menor resistencia por formación de olas.

A igualdad de desplazamiento y manga, la carena con menor eslora de flotación tendrá una menor superficie mojada, por esto resulta la conveniencia, en una primera aproximación, de dotar de relaciones más bajas a los veleros que estén destinados a navegar en regímenes de poco viento.

Valores elevados de este coeficiente, permiten el efecto ventajoso, desde el punto hidrodinámico, del afinamiento del ángulo de entrada de las líneas de agua y el flujo del agua con el velero escorado sea más uniforme, disminuyendo el incremento de resistencia añadida.

2.4 Relaciones de Francobordo

Los tres coeficientes fundamentales son:

$$\begin{aligned} & \text{Eslora total/Francobordo medio} \\ & \text{Francobordo en proa/Francobordo medio} \\ & \text{Francobordo medio/Manga máxima} \end{aligned}$$

El primero de ellos es función clara de la eslora total, aumentando menos con la eslora. Esto es debido por una parte a la consecución de un francobordo adecuado para conseguir volumen bajo cubierta y por otra, a la evolución, con la eslora, de la relación eslora/manga.

La relación entre los francobordos en proa y medio, que puede hacerse igualmente con el de popa, expresa el grado de arrufo de la cubierta al costado. Actualmente la tendencia en la representación lateral de la línea de cubierta es presentar arrufos prácticamente rectos y a veces, con un claro arrufo en el tercio de proa para evitar la inmersión de esta en veleros con poco francobordo.

En primera aproximación, la relación entre el francobordo medio y la manga en flotación, que expresará la tangente del ángulo formado por la flotación y el plano definido por el eje de la flotación y el punto en la regala de manga máxima, expresa el orden de escora requerida para la inmersión de cubierta.

Para retrasar este valor, es común curvar la borda hacia dentro, disminuyendo el derrame de las cuadernas.

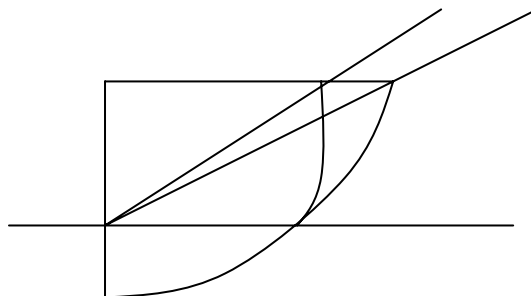


Fig.1 Derrame de las cuadernas.

Valores altos del francobordo ayudan a mantener seca la cubierta y proporcionan estabilidad extra a grandes ángulos de escora y mayor volumen interior, pero como efectos negativos, el francobordo alto origina mayor resistencia al viento, especialmente en ceñida, aumenta el abatimiento y supone un aumento de la posición vertical del centro de gravedad y del centro de esfuerzo del plano vélico, debiendo ser compensado por un aumento del lastre y por consiguiente del desplazamiento.

2.5 Relación Manga de Flotación/Calado del Casco

Este es sin duda uno de los coeficientes con mayor influencia en el comportamiento de la carena y uno de los más experimentados en ensayos de canal y en programas de análisis CDF.

Valores elevados de este coeficiente suponen un incremento lineal de la superficie mojada y por tanto de la resistencia de fricción a bajas velocidades. Para igualdad de eslora en flotación y desplazamiento, el velero con mayor calado de casco, esto es que se aproxima más a una superficie cilíndrica, tendrá menor superficie mojada. Por otra parte, cuanto mayor es su valor, más grande será la asimetría de las flotaciones escoradas.

Valores elevados de este coeficiente conducen a carenas con mayor capacidad de planeo, pero ello debe ir acompañado de un desplazamiento suficientemente ligero, con valores de $LWL/\nabla^{1/3}$ del orden de 7 o mayores y una superficie vélica adecuada.

Como efecto adicional, un incremento de este coeficiente provoca una disminución de la relación de aspecto efectiva de la carena.

2.6 Coeficiente Prismático

El coeficiente Prismático nos expresa el reparto de volúmenes de la carena y tiene una influencia notoria en la resistencia. El no estar optimizado puede producir incrementos de la resistencia residual del orden del 10% de la resistencia total.

Para cada número de Froude, existe un coeficiente prismático óptimo. A velocidades bajas, un volumen de carena centrado, esto es, coeficientes prismáticos bajos, producen una menor resistencia, mientras que a medida que la velocidad aumenta, se requieren extremos voluminosos o lo que es lo mismo, coeficientes prismáticos altos.

Su valor, optimizado para un determinado coeficiente volumétrico, $LWL/\nabla^{1/3}$, correspondiendo a menores valores de este, es decir a barcos más pesados en relación con la eslora, coeficientes prismáticos relativamente más elevados.

Valores usuales del coeficiente prismático se sitúan en el intervalo de 0.54 a 0.56

La elección del coeficiente prismático adecuado debe ir ligada a la búsqueda de la posición longitudinal idónea del centro de carena (sin apéndices). En condiciones estáticas, esta posición debe situarse en valores comprendidos entre 2%-7% de la eslora en flotación, a popa de la sección media. La resistencia por formación de olas se minimizará retrasando este a medida que aumenta el número de Froude. La contribución del adecuado posicionamiento del centro de carena (LCB) es, en todo caso, menor que la debida al Coeficiente Prismático, pudiendo cifrarse entre el 1% y el 5%, siendo mayor a velocidades más altas.

2.7 COEFICIENTE VOLUMÉTRICO

La relación entre la eslora en flotación y la raíz cúbica del volumen de carena indica el grado de ligereza del velero. Este valor se encuentra limitado una vez definidos los parámetros básicos de proyecto y el tipo de material de construcción.

Cuanto mayor sea este coeficiente, se obtiene un casco más rápido y más estable. Para vientos fuertes, este coeficiente sirve de indicativo del potencial de velocidad del barco. En la fase de concepción, su estimación debe ser uno de los primeros pasos a realizar, bien a partir del estudio de modelos similares o bien mediante el empleo de fórmulas empíricas.

2.8 COEFICIENTE DE LA FLOTACIÓN Y COEF. PRISMÁTICO VERTICAL

Para igualdad de desplazamientos, valores altos se traducen en una estabilidad mayor al aumentar la ordenada del centro de carena. Las limitaciones vienen dadas por la necesidad de limitar el ángulo de incidencia de las líneas de agua.

El coeficiente prismático vertical (relación entre el volumen de carena y el producto del área de flotación por el calado del casco) indica la distribución vertical de volúmenes.

3-. POSICIÓN DEL CENTRO DE RESISTENCIA LATERAL

La diferencia entre las posiciones longitudinales de los centros de carena (LCB) y de resistencia lateral del casco (CRL) determina, junto con la distribución de superficies, en primera aproximación, el equilibrio direccional del velero. Este intervalo debe medirse en un mínimo del 2% de la eslora de flotación, midiendo el área lateral con apéndices completos. Con la escora de la carena, el CRL presenta un desplazamiento pronunciado, generalmente a proa; la adopción del valor adecuado viene influenciada por el área del timón, al tener la acción de este una influencia decisiva en el desplazamiento a popa del mismo. Un ángulo de tan solo 3 grados puede desplazarlo, para números de Froude altos, hasta un 10% hacia popa (ref. Namoto).

La búsqueda del posicionamiento adecuado se realiza habitualmente mediante el correcto posicionamiento de los apéndices, por ser la influencia de la carena escasa. Un parámetro de referencia adecuado es el coeficiente de superficie lateral del casco, que resulta de dividir el área lateral del casco por el producto del calado del casco y la eslora de flotación. Muy relacionado con las formas de las cuadernas, la tendencia es de obtener valores bajos que faciliten la maniobrabilidad.

4-. CURVA DE AREAS Y CURVA DE SUPERFICIES

La elaboración de la curva de áreas es habitualmente el paso inmediatamente anterior al trazado del plano de formas, una vez seleccionadas las dimensiones principales y optimizada la posición longitudinal del centro de carena y el coeficiente prismático.

La curva de áreas, que representa la distribución de volúmenes a lo largo de la eslora, indica de forma primaria la distribución del flujo. Por ello se debe procurar que sus extremos no presenten convexidades que incrementan la resistencia por formación de olas y favorecen el desprendimiento de flujo en la popa.

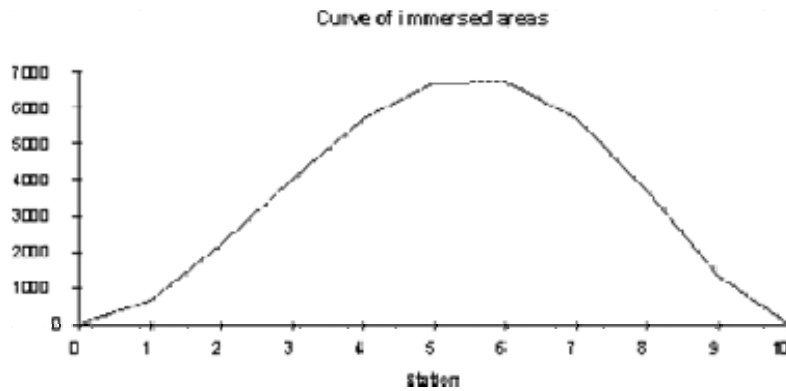


Fig. Curva de áreas

Una curva de superficies mojadas tendida y sin inflexiones, indicará una adecuada continuidad en las formas de las secciones de la carena.

Luis Pardo Prefasi
 Arquitecto Naval
CANÍBAL BOATS

BIBLIOGRAFÍA

10-17th Chesapeake Sailing Yacht Symposium.

Principles of Yacht Design.(Larsson and Eliasson)

Sesiones Técnicas sobre Diseño de Yates. E.T.S.I.N. Madrid. (I. Echenique)

Sailing Yacht Design. (D. Phillips-Birt)

Proyecto de embarcaciones deportivas a vela. (J. Coello-P. Morales).