

DISEÑANDO NUESTRO MODELO



Toni Leanez
Barcelona, Noviembre 2011

DISEÑANDO NUESTRO MODELO

Capítulo I

Los Preliminares

En alguna parte leí, o tal vez escuché, que nuestra actividad se define como deporte-ciencia, para algunos puede que no sea ninguna de las dos cosas, para otros puede que sí, pero si repasamos los distintos conocimientos, en sus diferentes grados que hay que poseer para practicar nuestra actividad, llegaremos a la conclusión que tal definición no es tan descabellada.

Muchos son los campos que ofrece esta actividad, desde la investigación y el estudio de la historia del mar, sus barcos y su gente, hasta la realización completa, con mayor o menor fortuna, de un modelo: concepción, estudio, planos, construcción y navegación.

¿Hay algo más satisfactorio que comprar una maqueta de barco en kit, montarla, pintarla, ponerla a punto y navegarla?

Si. Y la respuesta es trabajar partiendo de un plano. Y volveríamos a hacer la misma pregunta. ¿Hay algo más satisfactorio...?

Y la respuesta sería si. Hacer nuestro propio diseño, imaginar en nuestra mente el barco que queremos construir, traspasar esa idea al papel, cortar las piezas que hemos diseñado, ajustarlas, montarlas, construir el barco y sus accesorios, pintarlo, ponerlo a punto y navegarlo.

Y así cerramos el círculo: imaginar, plasmar, realizar.

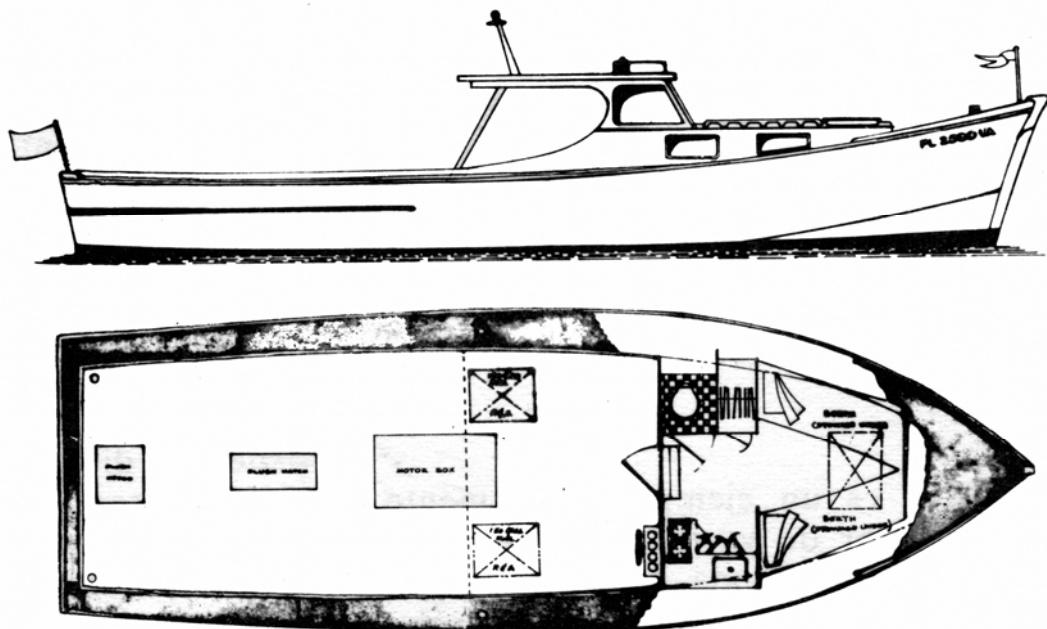


Figura 1

La interpretación de un plano, cuando este es figurativo, es muy fácil, pero la cosa se complica un poco cuando hay un maremágnum de líneas y hemos de imaginar objetos en tres dimensiones en un soporte que es de dos.

La (Figura 1) nos muestra un plano figurativo que fácilmente podemos interpretar. En la (Figura 2) vemos el plano de líneas del mismo proyecto, se trata del diseño de Roger Winter de una pequeña embarcación multiuso: pesca comercial, barco de fletamiento, crucero para cuatro personas, pequeño pesquero de arrastre, barco langostero o pesca deportiva. Aquellos que estén familiarizados con los barcos del West Florida y los Cayos, fácilmente habrán reconocido sus líneas.

Las características:

Eslora total: 11,59
Manga: 3,81

Eslora en flotación: 10,93
Calado máximo: 1,32

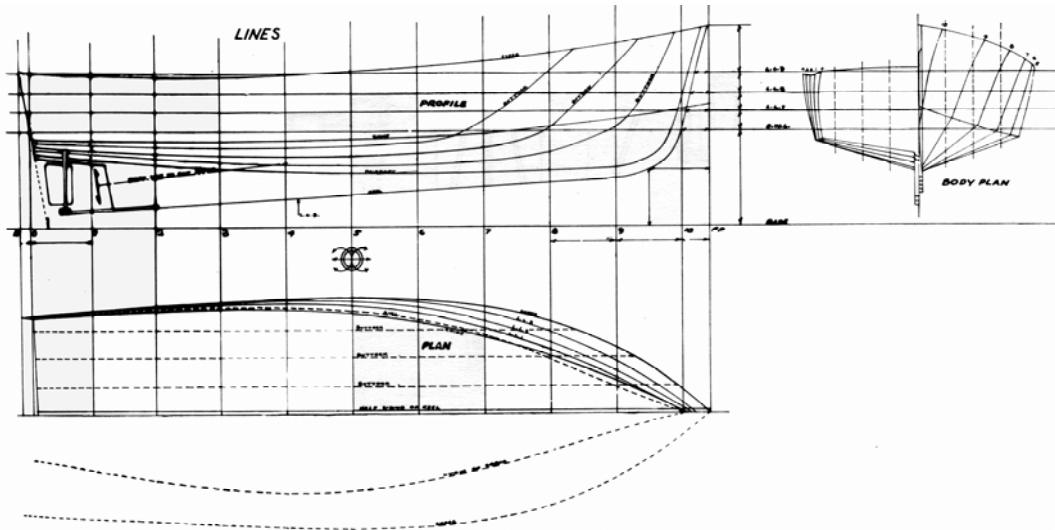


Figura 2

La (Figura 3), representa las primeras líneas de nuestro proyecto, se trata de una pequeña lancha, cuyas características las podemos ver en el Capítulo III, que puede incorporar un motor fuera borda o también interior, según nuestras preferencias o lo que encontremos en el mercado.

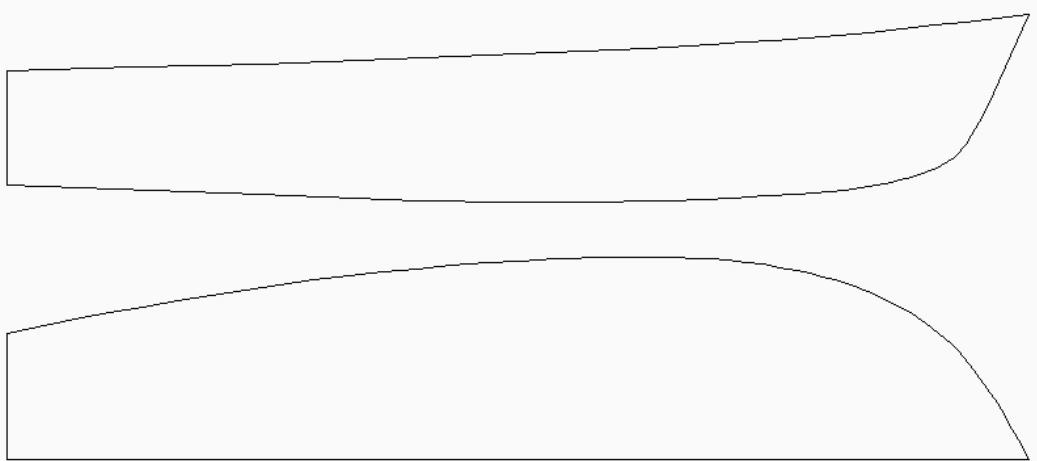


Figura 3

Pero antes de proseguir vamos a dedicar un momento a desmitificar los planos.

DISEÑANDO NUESTRO MODELO

Capítulo II

Los Planos

Para desmitificar los planos, vamos a tomar como ejemplo una "Pera", fruta que cortaremos en dos mitades. Sugerimos que los que no estén habituados a "ver" objetos en los planos, sino líneas que se cruzan, sigan estas explicaciones con la pera y un cuchillo encima de la mesa para hacer los cortes que iremos explicando.

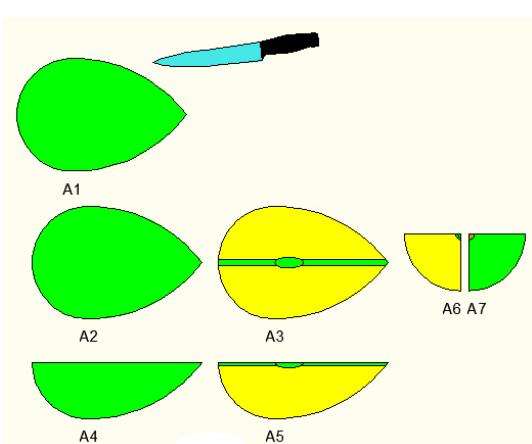


Figura 4

Los dibujos son a título meramente ilustrativo, que nadie los tome como una representación técnicamente exacta.

La (Figura 4) representa una pera –fruta–(A1) que cortaremos en dos mitades (A2) y (A3). La mitad (A2) se ve por el lado de la piel y la (A3) por la "carne".

Como las dos mitades son iguales, hemos hecho un corte longitudinal así nos quedan dos cuartos como (A4) y (A5), vistos, respectivamente, por la piel y la "carne".

Los dos cuartos que nos han sobrado, los cortamos por la mitad con lo que tenemos cuatro trozos de los que tomamos sólo dos, uno de la mitad hacia atrás y otro de la mitad hacia adelante que están representados como (A6) y (A7).

En la (Figura 5) podemos ver las tres vistas que tiene todo plano. En el diseño industrial estas vistas se llaman "Alzado", "Planta" y "Perfil". En el diseño naval estas vistas toman los nombres de "Plano Longitudinal", "Plano Horizontal" y "Plano Vertical".

La imagen (A3) de la (Figura 4) la hemos cortado por la mitad, por ser simétrica, con lo que obtenemos el plano horizontal.

Si a este plano horizontal le damos un giro de 90 grados hacia arriba, obtenemos la imagen del plano longitudinal.

Y finalmente, si al plano longitudinal le damos otro giro de 90 grados hacia la derecha obtendremos el plano vertical.

El plano horizontal significa el barco visto desde arriba, a vista de pájaro.

En el plano longitudinal vemos al mismo tiempo la parte que está sobre el agua como la que está debajo, delimitada por la línea de flotación de color azul.

Hemos convenido poner, en la representación del plano vertical, a la derecha el costado de estribor con las secciones de proa, es decir, desde la proa hasta la manga máxima y a la izquierda el costado de babor con las secciones de popa. No todos los

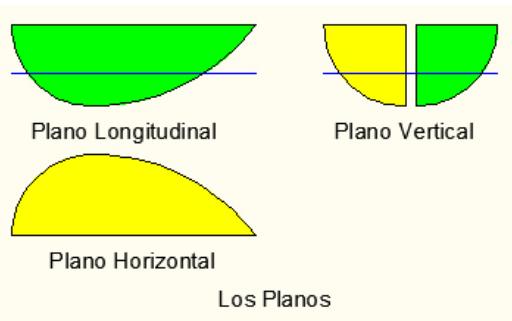


Figura 5

planos siguen esta “regla” no escrita, pero es la representación de la mayoría de los diseñadores.

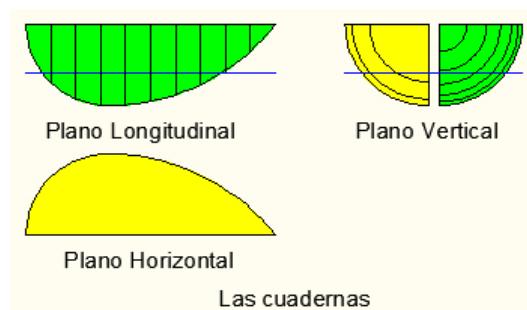


Figura 6

Cortaremos el plano longitudinal, (Figura 6) en finas rodajas equidistantes, que colocaremos encima del plano vertical, situando las de proa en el lado derecho y las de popa en el izquierdo.

La forma que adopten estas rodajas será la forma de las secciones o cuadernas.

Ahora cortamos el plano longitudinal en finas rodajas horizontales como “a”, “b”, “c” y “d” (Figura 7). Tomamos las rodajas y las disponemos encima del plano horizontal para a “Vista de Pájaro” obtener la imagen representada en (A2).

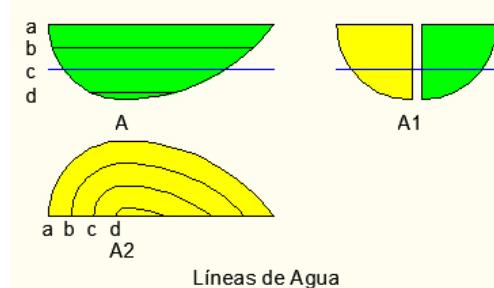


Figura 7

Las “Líneas de Agua” representan lo mismo y de su estudio podemos deducir la forma del casco a una profundidad dada, además representan un elemento de control esencial, pues si la línea de agua no es una curva continua y uniforme quiere decir que en algún punto hemos cometido un error.

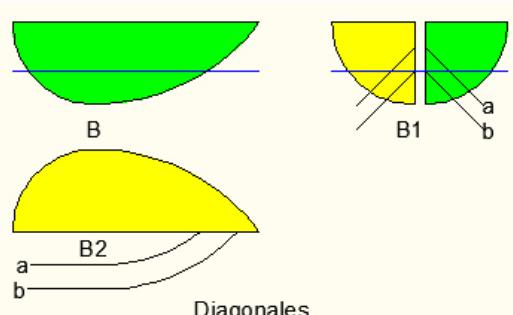


Figura 8

Cortando el plano vertical en finas rodajas, aproximadamente a 45 grados, como “a” y “b” (Figura 8), obtenemos dos curvas que llamaremos “Diagonal a” y “Diagonal b”.

Las “Líneas Diagonales” deben ser curvas suaves y continuas que se acostumbra a dibujar en la parte inferior del eje de simetría del plano horizontal. Son muy útiles para detectar errores de diseño.

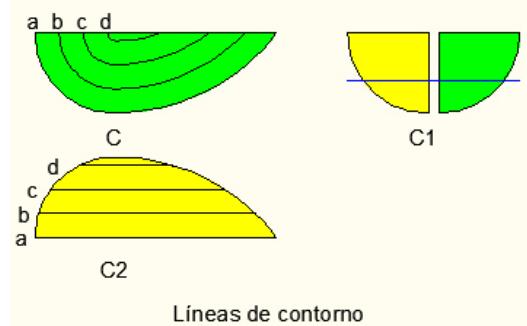


Figura 9

Si el plano horizontal lo cortamos en finas rodajas longitudinales como “a”, “b”, “c” y “d”, (Figura 9) y las disponemos sobre el plano longitudinal, obtenemos las “Líneas de Contorno”.

Las líneas de contorno nos indican como fluirá el agua a través del casco y por tanto la facilidad de desplazarse a través de ella.

Ahora trataremos de identificar cada línea de las (Figuras 6, 7, 8 y 9) con el plano de líneas representado en la (Figura 2). Más adelante volveremos sobre este tema con mayor detalle.

DISEÑANDO NUESTRO MODELO

Capítulo III

Las Primeras Líneas

El método de diseño que se explica en estas páginas es de fácil asimilación, sin matemáticas complejas, pero lo suficientemente exacto para barcos de hasta diez metros y por descontado para los que normalmente construimos.

Con un poco de práctica conseguiremos diseñar nuestros propios modelos con una calidad de navegación aceptable, bastante más que aceptable, pero lógicamente, que nadie crea que una vez asimiladas estas explicaciones estaremos en disposición de diseñar el Queen Mary, ni muchísimo menos, pero, sí nos dará la satisfacción de llevar a la realidad nuestra idea y como se decía en aquella, ya antigua película, “*...y detrás de la casa hay una montaña, no es muy alta y más bien es fea, pero la queremos mucho porque es nuestra montaña*”.

Así, pues, nuestro modelo no será el más competitivo, ni siquiera aspirante a ganar una regata, aunque sea a nivel “**dominguero**” pero le tendremos un cariño muy especial porque será “**nuestro diseño**”.

Hay programas informáticos que hacen ese trabajo por nosotros, incluso los podemos bajar de Internet de forma gratuita, FreeShip es uno de ellos y basta tan sólo con introducir las tres dimensiones principales, eslora, manga y calado y el programa hace todo lo demás, pero... ¿Verdad que no es lo mismo?

Un diseño o proyecto, aunque parezca una tontería, empieza por ponerle un nombre, puede ser algo sencillo o entrañable, como el nombre de algún ser querido, o el nuestro propio, ¿por qué no? O algo más sofisticado, por ejemplo... “**EME PEDE**”, la fonética de las consonantes iniciales de las palabras “**M** Primer **D**iseño”.

Empezaremos abriendo una carpeta, sea virtual en nuestro ordenador o real y en ella iremos archivando toda la documentación que podamos recopilar, fotografías, planos, ideas, sugerencias y todo tipo de información que nos ayude en la realización de nuestro proyecto. Si todavía no hemos decidido el nombre, podemos titular la carpeta como “**Unnamed**” (Anónimo), aunque yo propongo el de “**Avante**” como símbolo de la dirección en la que nos movemos.

El siguiente paso será tomar una serie de decisiones: el tipo de barco –vela o motor– la eslora total, la eslora en flotación, la manga máxima y el calado.

Ahora trazaremos, a escala, el plano longitudinal y horizontal de la embarcación. Para ilustrar el método de diseño, hemos realizado el plano de líneas del “**Avante**”, una pequeña lancha que puede equipar un motor fuera borda o interior. Ver (Figura 11)

En este primer diseño nos hemos decidido por una carena o casco con cuadernas en “V”, por ser de más fácil realización tanto a nivel de diseño como a nivel constructivo porque sus formas se pueden desarrollar en una superficie plana y forrar el casco con 5 piezas, dos para el fondo, dos para los laterales y una para la cubierta.

Hemos sacrificado la estética en aras a la sencillez, por ejemplo, las secciones en “V” son líneas rectas, sin flare, es decir sin forma acopada. El yugo de popa, también buscando la sencillez, lo hemos proyectado recto, sin caída. La línea del arrufo es

clásica y bastante recta —el arrufo invertido lo dejaremos para más adelante— y la única concesión es la forma de la popa que desde la línea de flotación asciende disminuyendo la manga para mejorar la estética.

Por otra parte el casco en “V” presenta más ventajas sobre el casco con fondo redondeado a las elevadas velocidades que alcanzan los cascos de planeo. Los cascos de sección redondeada presentan más resistencia y tienen menos tendencia a ascender que los cascos en “V” a igual eslora y manga.

En cuanto a las condiciones de estabilidad, los fondos en “V” son preferibles a los de sección redondeada por cuanto al escorar el barco, el pantoque de arista viva desplaza más agua, consideración de indudable interés si se quiere una cubierta estable para aquellos que se dedican a la pesca.

No obstante, los amantes del esquí acuático prefieren las embarcaciones de pantoque redondeado porque en las viradas levantan una ola de mayores dimensiones que les ayuda a resistir la fuerza centrífuga que la amplia evolución del esquiador comunica a la popa de la embarcación.

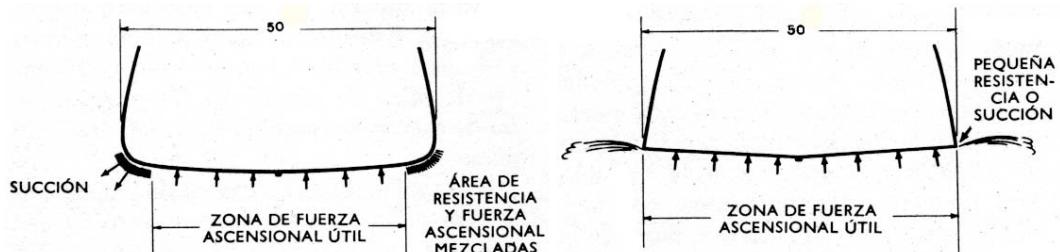


Figura 10

Una vez asimilado el sistema y después de haber realizado algunos diseños, podemos dejar en completa libertad nuestra imaginación y proyectar embarcaciones que harán palidecer de envidia a los más afamados diseñadores mundiales de todos los tiempos.

Las medidas iniciales de nuestro proyecto son las siguientes:

Eslora total:	650 mm.
Eslora en flotación:	600 mm.
Manga máxima:	258 mm.
Calado:	28 mm.

Hay una serie de fórmulas matemáticas para definir las dimensiones, como por ejemplo la manga que debe estar comprendida, en diseños “normales”, entre un tercio y un cuarto de la eslora total, etc., pero en los primeros diseños lo mejor es guiarse por otros planos reconocidos, fotografías, etc. hasta adquirir la suficiente experiencia para tomar decisiones exclusivamente propias.

No obstante, aquí, como en tantos otros campos, es aplicable aquella anécdota de un célebre músico español que paseando por el parque con su nieta, a la sazón estudiante de piano, se pararon ante una estatua que representaba una mujer tocando el piano.

La nieta, asombrada, le dijo a su abuelo. ¡Mira abuelo, pone las manos igual que me enseña mi profesora! ¿El señor que ha hecho la estatua es pianista?

A lo que el abuelo respondió. No, seguramente no. El artista encuentra la perfección buscando la estética y el técnico encuentra la estética buscando la perfección.

Es asombrosamente cierto lo unido que van técnica y estética, así que en nuestros primeros diseños, vamos a dejarnos llevar un poco por nuestro sentido estético. Si nuestro modelo estéticamente resulta acertado, con toda seguridad, técnicamente también lo será.

Se ha previsto realizar este proyecto en contrachapado de siete milímetros para la quilla y las cuadernas y de tres milímetros para el forro. La forma del casco nos permite forrarlo con piezas de contrachapado en lugar de las clásicas tracas.

La (Figura 11) es un paso más avanzado de la (Figura 3), con la incorporación de algunas líneas.

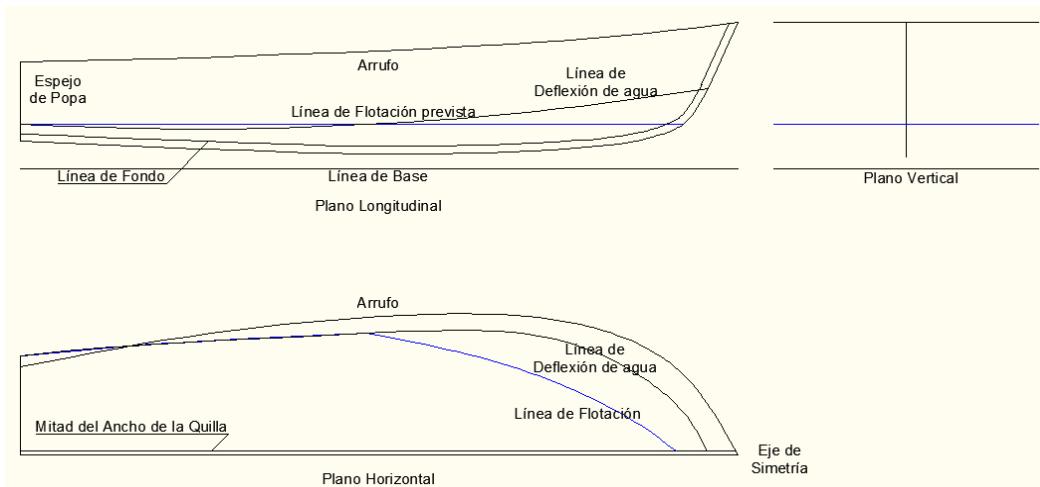


Figura 11

En el “Plano Longitudinal” hemos añadido la “Línea de Flotación prevista”, -en color azul- es decir, la eslora que queremos que tenga la embarcación en los puntos que toca la superficie del agua. Esta línea, seguramente, la modificaremos después de los cálculos, pero nos facilitará el trabajo si la representamos en este momento.

También hemos representado la “Línea de Base” que la trazaremos por debajo del punto más bajo de la quilla y a una medida par de la línea de flotación, simplificando de esta forma, al tener una referencia común, la operación de transportar las medidas al ir completando nuestro plano.

La “Línea de Fondo” representa la intersección del forro del casco con la quilla. Esta línea se determina a ojo y varía según el tipo de casco. La observación de fotografías y planos de barcos nos será de gran ayuda para determinar su trazado. Por regla general el punto de máximo calado de esta línea lo situaremos a proa de la mitad del casco.

La línea de fondo de la (Figura 11), es a título meramente ilustrativo, ya que hemos decidido que la quilla de nuestro modelo quede totalmente oculta por el forro de la embarcación.

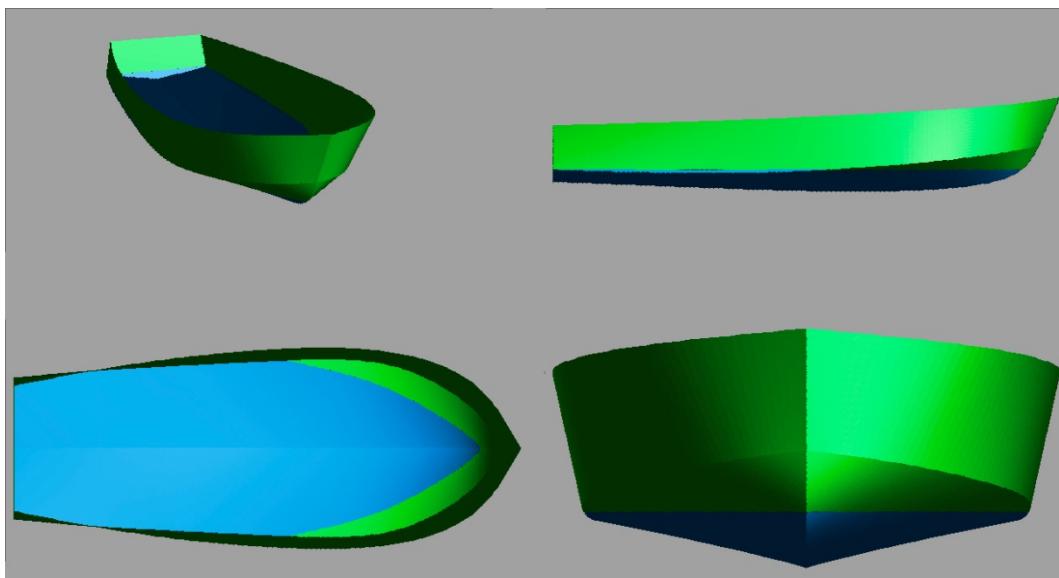
La “Línea de Deflexión de agua” representa la intersección del forro del fondo con el del costado. Sólo se diseña para los cascos con carena en “V” y lógicamente no se encuentra en embarcaciones con carena “Redonda”.

En la zona central del casco, la línea de deflexión de agua debe estar sumergida, con una ligera curvatura hacia arriba a medida que se acerca a popa para facilitar la salida del agua. Hacia proa, debe subir gradualmente, aumentando su curvatura tanto más cuanto más se acerca a la roda.

El “Plano Horizontal”, por razón de su “Eje de Simetría”, se representa sólo la mitad, ya que ambas mitades son iguales y así ahorraremos trabajo y ganamos precisión. Hemos dibujado el arrufo, la línea de deflexión de agua, la línea de flotación y también la mitad de la quilla, que en nuestro caso al tener esta un grosor de 7 milímetros, la situaremos a 3,5 milímetros del eje de simetría.

En el “Plano Vertical”, de momento sólo vemos la proyección de la línea de base, la línea de flotación prevista, el eje de simetría y la altura de la roda.

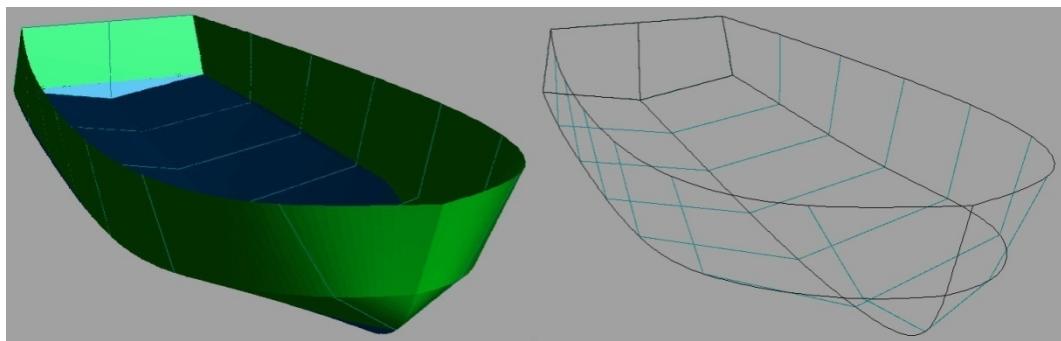
A continuación presentamos una serie de imágenes figurativas que nos darán una idea más concreta de lo que vamos a diseñar. Sugerimos comparar estas imágenes con las (Figuras 3 y 11) e intentar identificar las diferentes líneas. Comprobaremos que es más fácil de lo esperado.



(Figura 12)

De izquierda a derecha y de arriba abajo, vemos la perspectiva de nuestro proyecto, a continuación la vista de perfil o plano longitudinal, ya en la línea inferior, el casco visto boca abajo, cortado por la mitad, representaría el plano horizontal y finalmente una vista de proa semejante al plano vertical, salvo por la parte izquierda que debería verse por la popa. Los diferentes colores nos permiten diferenciar las diversas zonas como, línea de flotación, obra viva y muerta, así como la línea de deflexión del agua.

Las imágenes de la (Figura 13) nos muestran una perspectiva de las cuadernas y la representación sólida del casco.



(Figura 13)

En la (Figura 14) vemos las líneas de agua. La “Línea de Flotación” también es una línea de agua, generalmente la más significativa y representada en todos los planos.

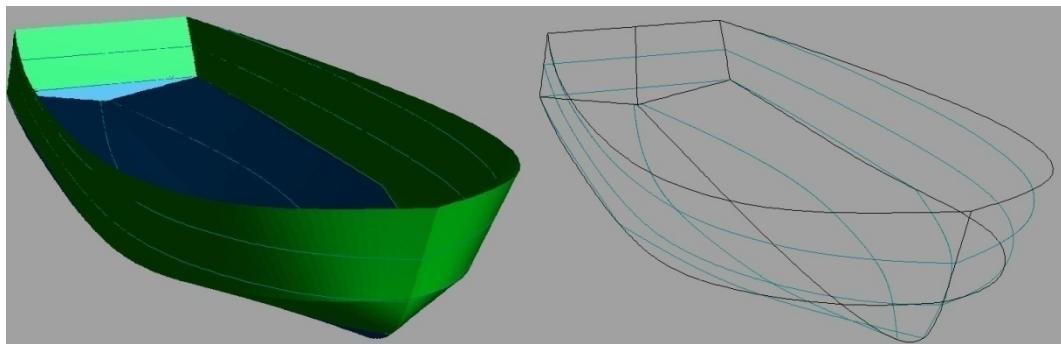


Figura 14

La (Figura 15) nos muestra el casco seccionado por las líneas de contorno.

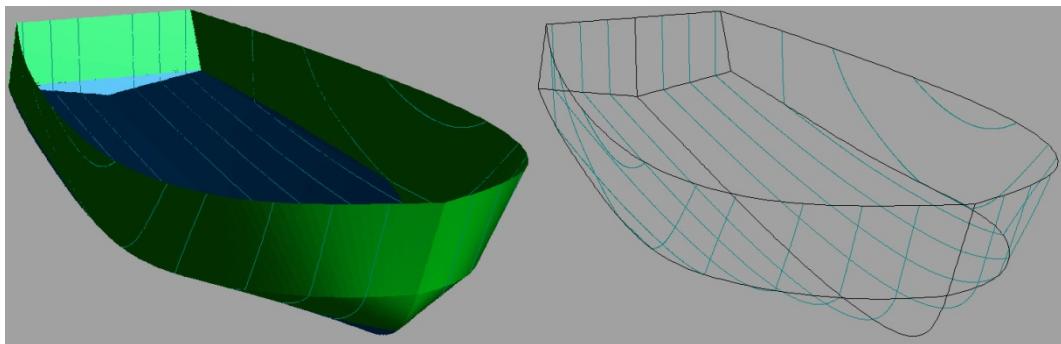


Figura 15

A medida que avancemos en la confección de nuestro plano, nos será de gran ayuda comparar las líneas con la representación figurativa de estas imágenes y estaremos de acuerdo con aquella famosa frase de cuyo autor no consigo recordar el nombre y que dice así: “**Valió la pena el esfuerzo. Después de todo no fue tan difícil**”

DISEÑANDO NUESTRO MODELO

Capítulo IV

Las Cuadernas

Básicamente son tres las formas de los cascos o carenas: Redonda, Plana y en "V"

¿Qué diferencia hay entre sección y cuaderna? En el lenguaje cotidiano solemos hablar de cuadernas, pero, en rigor, sección es todo corte que se hace en el plano a un objeto para ver sus detalles. Así cuando hablamos de las secciones de un barco nos referimos al perfil que adopta la parte que hemos seccionado o cortado. Cuando hablamos de cuadernas nos referimos a la pieza en madera u otro material con la forma de ese perfil. De ahora en adelante nos referiremos sólo a las cuadernas por ser la palabra de uso más común, incluso entre ciertos colectivos profesionales. En ciertos ámbitos también se utiliza la expresión costillas. Por tanto, sección es todo corte teórico en el plano, cuaderna es la pieza realizada físicamente.

Ha llegado el momento de abordar el diseño de las cuadernas, pero antes explicaremos el concepto "Cuadernas de Proyecto" y "Cuadernas de Construcción"

Cuadernas de Proyecto, es el diseño de las cuadernas atendiendo a las necesidades de los cálculos necesarios. Sus particularidades las iremos viendo a medida que avanza el diseño.

Cuadernas de Construcción, son las cuadernas reales, las que cortaremos en madera, o el material que elijamos, con su forma definitiva, rebajadas en el grueso del forro de la embarcación y la cubierta. La separación entre cuadernas, a lo largo de la quilla, dependerá de las necesidades de espacio para ubicar motor, equipo radio, etc.

En su diseño indicamos todos los detalles, como por ejemplo, vaciados para aligerar peso, taladros para permitir el paso de cables o el eje de la hélice, etc. Su posición a lo largo de la quilla puede coincidir con la situación de las cuadernas de proyecto, pero no necesariamente, su diseño es igual que las cuadernas de proyecto, la única diferencia puede ser su posición a lo largo de la quilla.

El número de cuadernas de proyecto, será siempre impar, de manera que los espacios entre cuadernas sea siempre un número par.

La primera cuaderna, a la que pondremos el número "0", la haremos coincidir con el punto donde roda y línea de flotación prevista se cortan. La última cuaderna será aquella de popa que corta la línea de flotación prevista con la quilla. Recuérdese que hablamos de las cuadernas de diseño.

Las cuadernas intermedias seguirán con los números "1", "2", "3" y así sucesivamente hasta llegar a la última que lógicamente llevará un número par. Efectivamente, si proyectamos un número impar de cuadernas y la primera es el número "0", no importa cuántas hayamos previsto que la última siempre llevará una cifra par. Necesariamente ha de ser así para los cálculos que posteriormente deberemos hacer.

Esta fase del proyecto, como todas, requiere de la máxima exactitud, ya que de lo contrario no será posible transportar, con la precisión requerida, todas las líneas, arrufo, deflexión, fondo, líneas de agua, diagonales y líneas de contorno. De todas ellas ya hicimos un pequeño antípico, pero las veremos con mayor detalle.

Vamos a diseñar la cuaderna maestra que ocupa la tercera posición y que, en nuestro plano, ostenta el número “2”. De ahora en adelante nos referiremos a las cuadernas por la numeración que le hemos asignado en nuestro plano. Como empezamos por “0”, la tercera cuaderna ostentará el número “2”. Es muy importante tener este concepto perfectamente claro, ya que como dijimos anteriormente, esto es parte esencial de todo el proceso de cálculo de nuestro proyecto.

Tomaremos las medidas de los planos longitudinal y horizontal y las transportaremos al plano vertical

- A) Distancia entre el Eje de Simetría y la Línea del Arrufo. Medida tomada en el Plano Horizontal.
- B) Distancia entre el Eje de Simetría y la Línea de Deflexión de agua. Medida tomada en el Plano Horizontal.
- C) Distancia entre la línea de base y el Arrufo. Medida tomada en el Plano Longitudinal.
- D) Distancia entre la línea de base y Línea de Deflexión de agua. Medida tomada en el Plano Longitudinal.
- E) Distancia entre la línea de base y el canto bajo de la quilla. Medida tomada en el Plano Longitudinal.

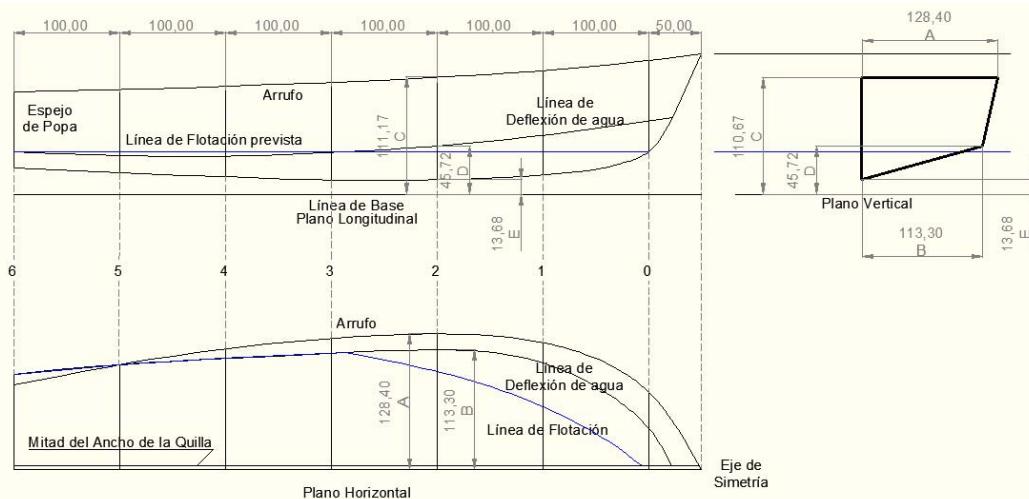


Figura 16

Con el resto de cuadernas procederemos de igual forma, es decir transportando los puntos de los planos longitudinal y horizontal al plano vertical, la unión de estos puntos dará forma a la cuaderna.

La costumbre es dibujar sólo la mitad de las cuadernas. A la derecha dibujaremos las cuadernas de proa, es decir las que van desde la roda hasta la maestra y a la izquierda las cuadernas de popa, o sea las que van desde la maestra hasta el yugo de popa. A veces, para claridad del diseño, puede convenir variar ligeramente esta regla no escrita, pero que generalmente es la más comúnmente adoptada.

En la mayoría de los modelos, la ubicación de las cuadernas de construcción, coincidirá con las cuadernas del proyecto. De no ser así, para elaborar el perfil de las cuadernas de construcción procederemos tal como se ha explicado anteriormente, pero situando las cuadernas a las distancias, unas de otras y a lo largo de la quilla, que más nos convenga.

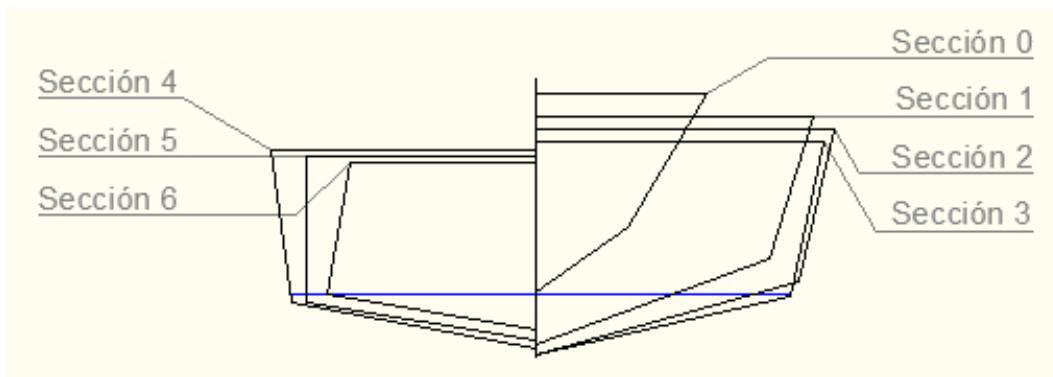


Figura 17

En los barcos reales, la separación entre cuadernas de construcción, por regla general, es de una treintésima parte de la eslora en flotación, nosotros dispondremos las necesarias para que la curvatura de los listones y tracas se ajuste a la forma de nuestro plano. La (Figura 17) muestra las cuadernas del “Avante”.

Para diseñar el “Bao”, hemos de decidir que “Brusca” queremos darle al centro de la cuaderna, generalmente, se calcula de 4 a 5 centímetros por metro de manga, para nuestro modelo vamos a tomar un valor de 4 centímetros, todo ello expresado en metros se refleja en la ecuación siguiente: $B = \frac{0.258 \times 0.04}{1000} = 0,0103$ o lo que es lo mismo 10,3 milímetros de brusca. En la práctica tomaremos un valor de 10 milímetros.

Trazamos un segmento base (A-B) de longitud igual a la manga máxima de nuestro barco. Este segmento lo dividimos en 8 partes iguales y por cada una de ellas levantamos perpendiculares (c, b, a, O, a, b, c) de longitud igual a la brusca. En el centro (O) del segmento base trazamos un arco de circunferencia de 90 grados y radio igual a la brusca, en nuestro caso de 10 milímetros.

Dividimos el arco y su radio horizontal en 4 partes iguales y unimos las divisiones del radio con las divisiones del arco (a'-a'', b'-b'', c'-c''). Medimos la longitud de cada división y la trasladamos respectivamente a las perpendiculares (a, b, c). Sólo nos resta unir el extremo (A) del segmento con el extremo (B) mediante una curva suave, uniforme y continua, que pase por los puntos (c, b, a, O, a, b, c). En la (Figura 18) vemos el proceso dibujado sin escala para mayor claridad.

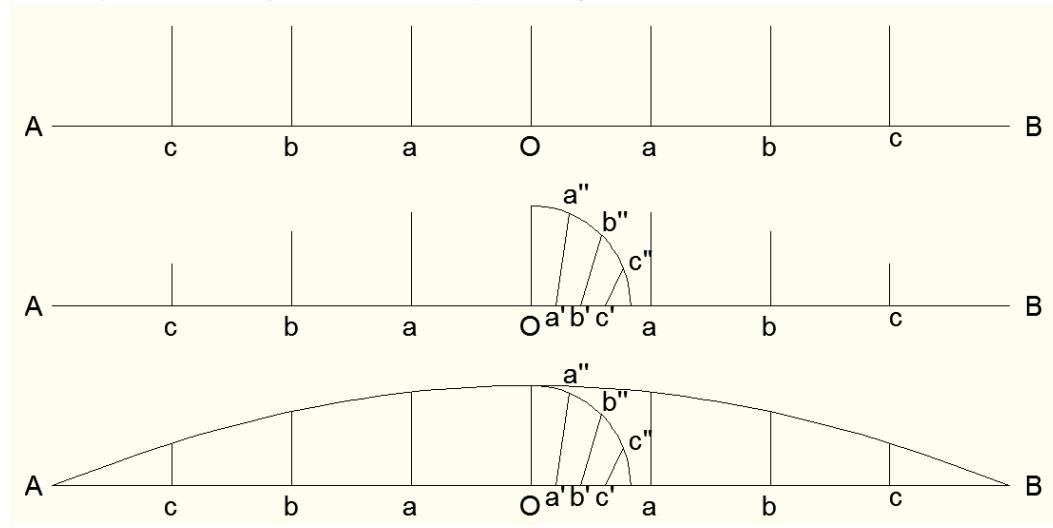


Figura 18

Ahora ya podemos dibujar, a escala, la plantilla de nuestro bao y trasladarla a todas y cada una de las cuadernas de nuestro modelo. Ver (Figura 19).

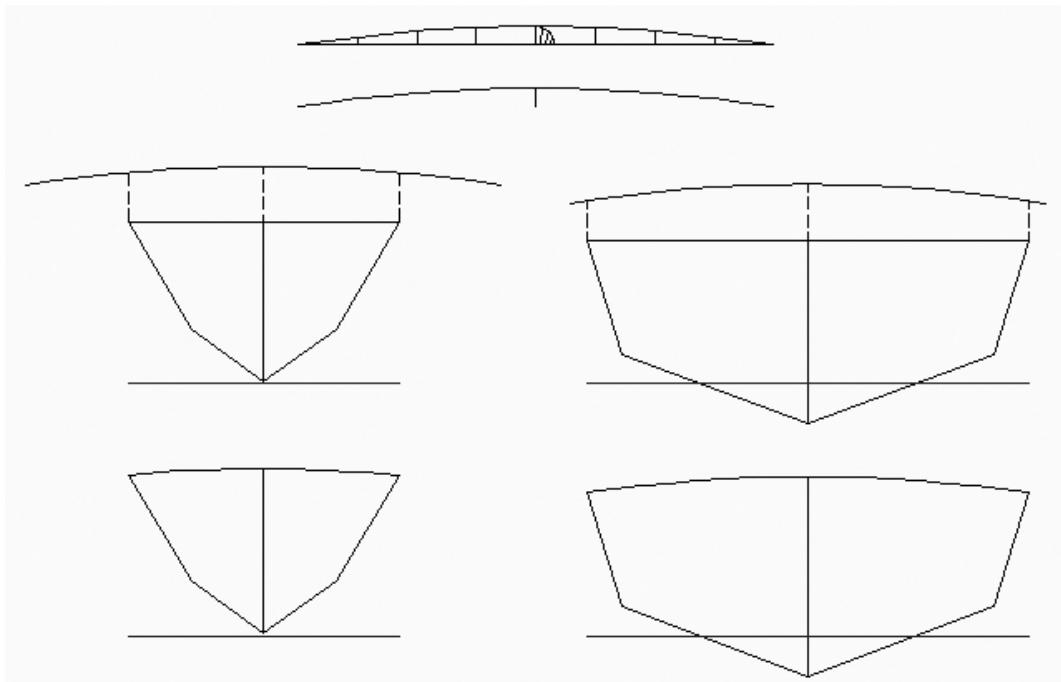


Figura 19

Hacemos coincidir la línea central del bao con la línea central de la cuaderna, levantamos dos perpendiculares desde los extremos de la cuaderna hasta cortar la curva del bao. Y proyectamos el fragmento de bao comprendido entre las perpendiculares hasta los extremos de la cuaderna. Repetimos el proceso con todas las cuadernas y ya tenemos completamente terminada nuestra caja de cuadernas como podemos ver en la (Figura 20).

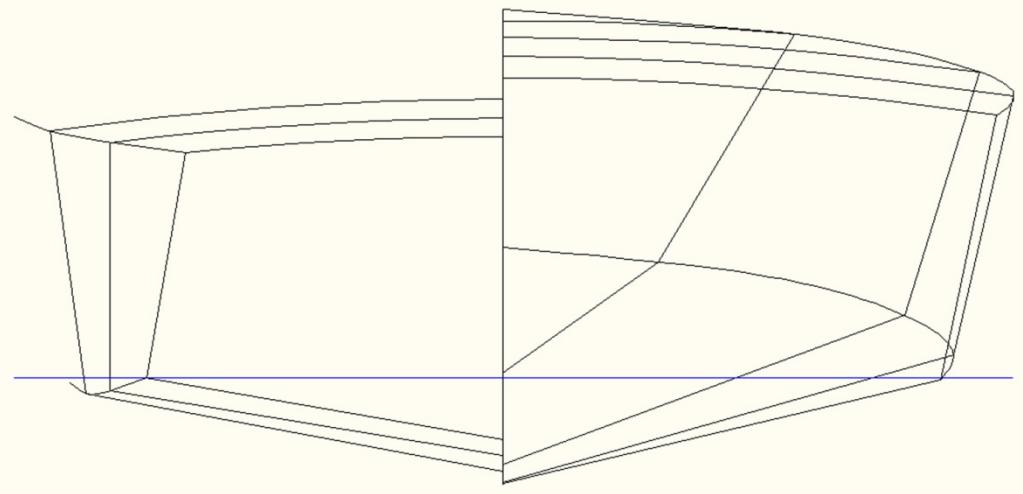


Figura 20

Finalmente, uniremos los extremos de las cuadernas con una curva. La continuidad y suavidad de la misma nos indicará la perfección del trazado. Cualquier brusquedad nos indicará donde se ha producido un error que, lógicamente, deberemos corregir antes de proseguir con nuestro diseño.

DISEÑANDO NUESTRO MODELO

Capítulo IV

Quilla y Cuadernas de Construcción

En la (Figura 21) vemos el plano longitudinal con la posición de las cuadernas y en su interior la quilla de nuestro modelo con el recorte para encajar las cuadernas.

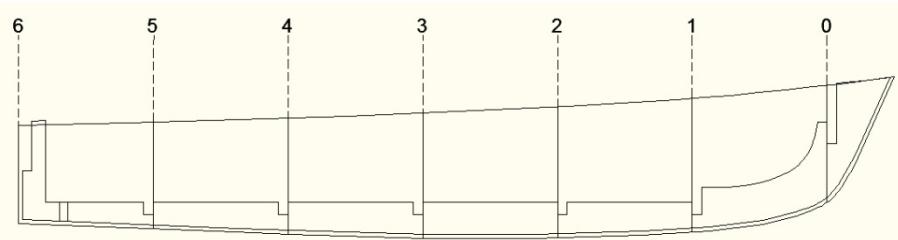


Figura 21

Si observamos los recortes de las cuadernas (0, 1 y 2) empiezan 7 milímetros, grueso de la cuaderna, antes de la línea que señala la posición de la cuaderna. En cambio en las cuadernas (3, 4 y 5) el final del recorte termina 7 milímetros después de la línea que indica la posición de la cuaderna. De la cuaderna 6 hablaremos después.

El lateral de la cuaderna no es recto, sino que debe seguir el perfil del plano horizontal. Para compensar el aumento que experimenta el perfil, en las cuadernas de proa, la cara posterior debe coincidir con la línea de posición. A partir de la cuaderna maestra, al disminuir el perfil, será la cara anterior la que debe coincidir con la línea de posición. Si no lo hacemos así nos faltará material. Observando la (Figura 22) se comprenderá mejor.

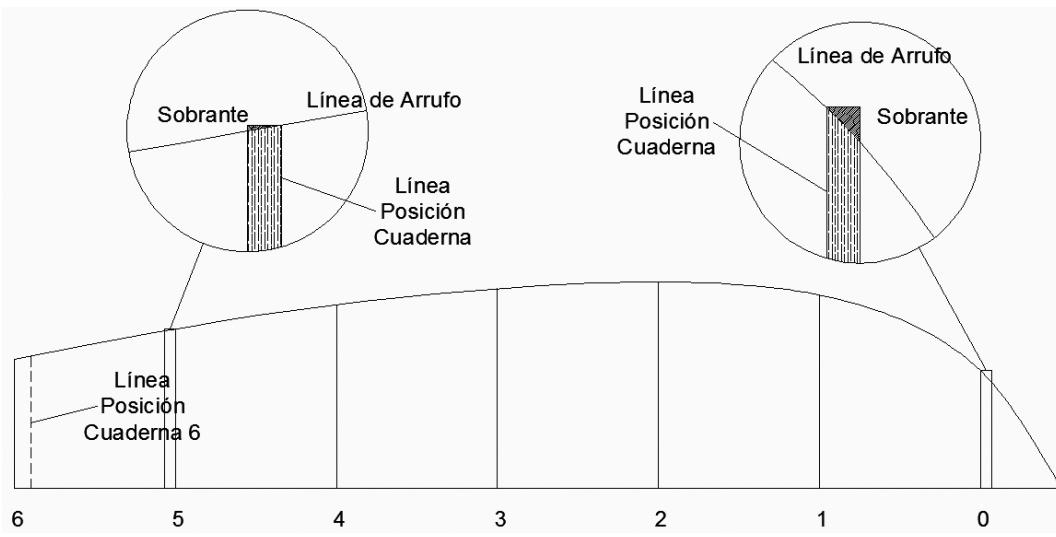


Figura 22

La línea de posición de la cuaderna 6 la colocaremos a 10 milímetros de la popa y desarrollaremos su perfil de la forma que hemos explicado. El grueso de la cuaderna compensará 7 milímetros, los otros 3 quedarán compensados por una cuaderna tapa que haremos en contrachapado de 3 para tapar las uniones del forro con la cuaderna y la de la propia cuaderna con la quilla.

La “Caja de Cuadernas” nos servirá para obtener el perfil de las cuadernas de construcción, pero antes de determinar los detalles, debemos descontar el grueso del forro y la cubierta.

En el “Capítulo III” decíamos que este proyecto se realizaría en contrachapado de siete milímetros para la quilla y las cuadernas y de tres milímetros para el forro. Así, pues, estos 3 milímetros del forro y la cubierta los tendremos que descontar para que una vez forrado el casco, sus medidas sean las previstas. Ver (Figura 23)

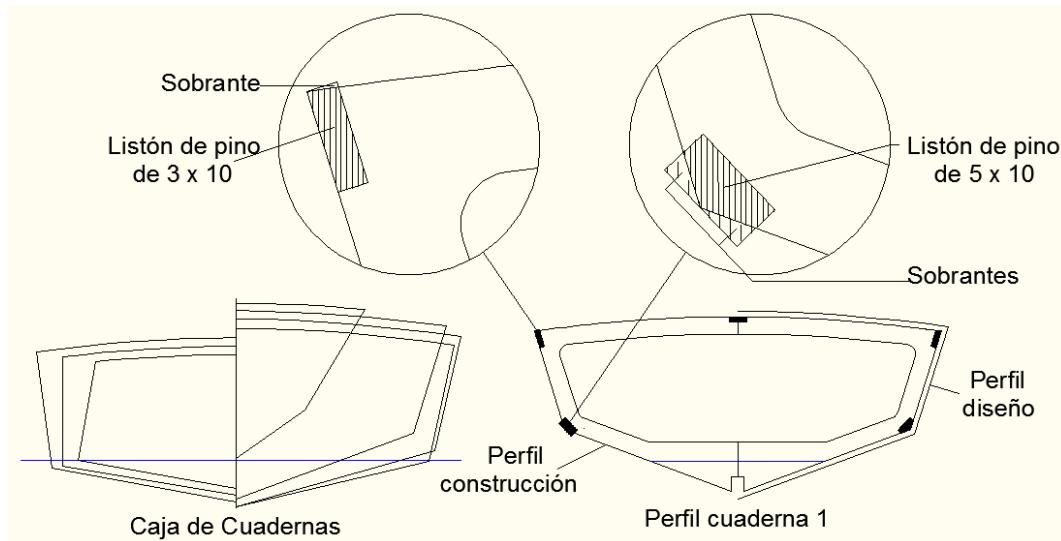


Figura 23

En los vértices que unen el costado con el bao haremos unos rebajes donde encajaremos los largueros (durmientes) que unirán todas las cuadernas dando rigidez al casco. El larguero de unión del vértice que forma la línea del deflector de agua, (pantoque), debe tener el grueso adecuado para que una vez rebajado del sobrante, su robustez sea suficiente para garantizar una unión sólida.

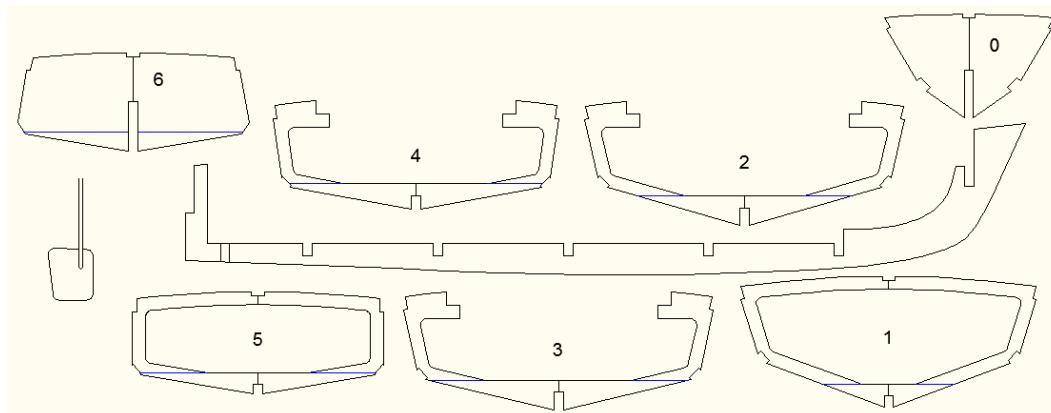


Figura 24

La (Figura 24) nos muestra el diseño definitivo de quilla, cuadernas y timón. En realidad cortaremos las piezas cuando hayamos hecho las comprobaciones debidas, garantía de que nuestro diseño es correcto y no adolece de defectos que aparezcan en la etapa de construcción.

DISEÑANDO NUESTRO MODELO

Capítulo V

Forro y Cubierta

Este capítulo lo vamos a dedicar al forro de nuestro casco. Con ello damos continuidad al conjunto de piezas básicas que conforman toda embarcación: Quilla, Cuadernas con sus Baos, Roda, Codaste, Durmientes, Pantoques, etc. etc., Forro y Cubierta.

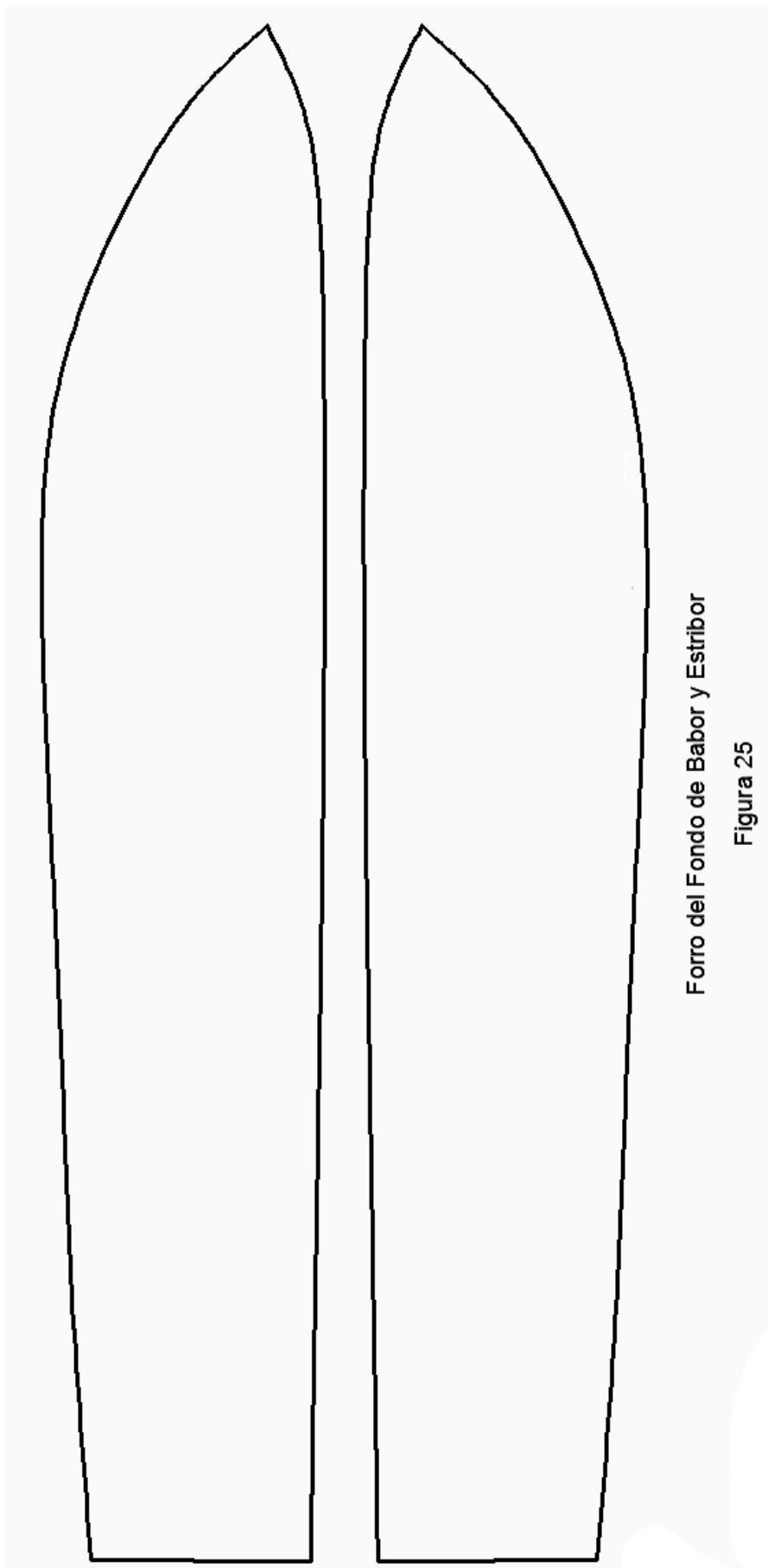
El “Avante” se ha diseñado para que su forro sea desarrollable sobre una superficie plana, esto nos permite utilizar diferentes sistemas para forrar el casco. Lo podemos forrar cortando las piezas, laterales, fondo y cubierta de una lámina de contrachapado de 3 milímetros que es el grueso que hemos previsto y que hemos descontado de la manga y el bao en todas las cuadernas.

También lo podemos forrar con el sistema clásico de tracas o si lo preferimos, podemos hacer un sistema de doble forro, primero con las piezas de contrachapado y superponer un forro de finas tracas de madera noble que barnizaríamos para resaltar su veteado.

El desarrollo de superficies curvas sobre un plano, dependiendo de la superficie a desarrollar, puede ser bastante complejo y requiere un dominio de las matemáticas superiores y del dibujo técnico que escapan al propósito de este pequeño trabajo. No obstante, para nuestros objetivos, podemos poner un trozo de contrachapado que cubra suficientemente toda el área a forrar y haciendo presión, con un lápiz reseguir todo su contorno con lo cual obtendremos un perfil lo suficientemente preciso.

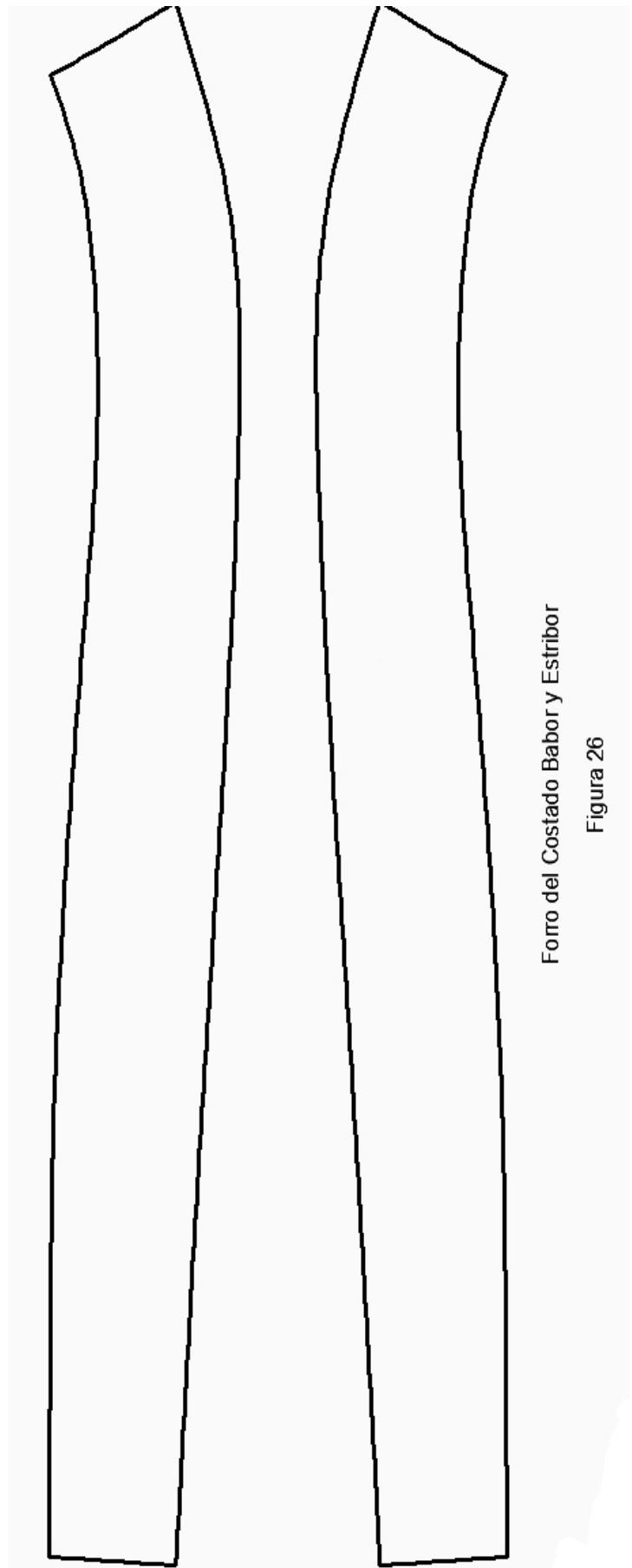
Conviene, no obstante, recortar la silueta obtenida con algunos milímetros de margen para poder cubrir pequeños errores de trazado, con cinco o seis milímetros será suficiente. Una vez debidamente encolada la pieza, la terminaremos de ajustar mediante un cepillado o lijado de la madera sobrante.

En las figuras que siguen podemos ver el desarrollo de ambos costados, estribor y babor, el fondo, que también está dividido en dos partes y la cubierta. Aunque el perfil está trazado por medios matemáticos conviene, no obstante, darle ese margen de seguridad de cinco o seis milímetros para cubrir pequeños errores tanto del forro, propiamente dicho, como del ajuste de las cuadernas.



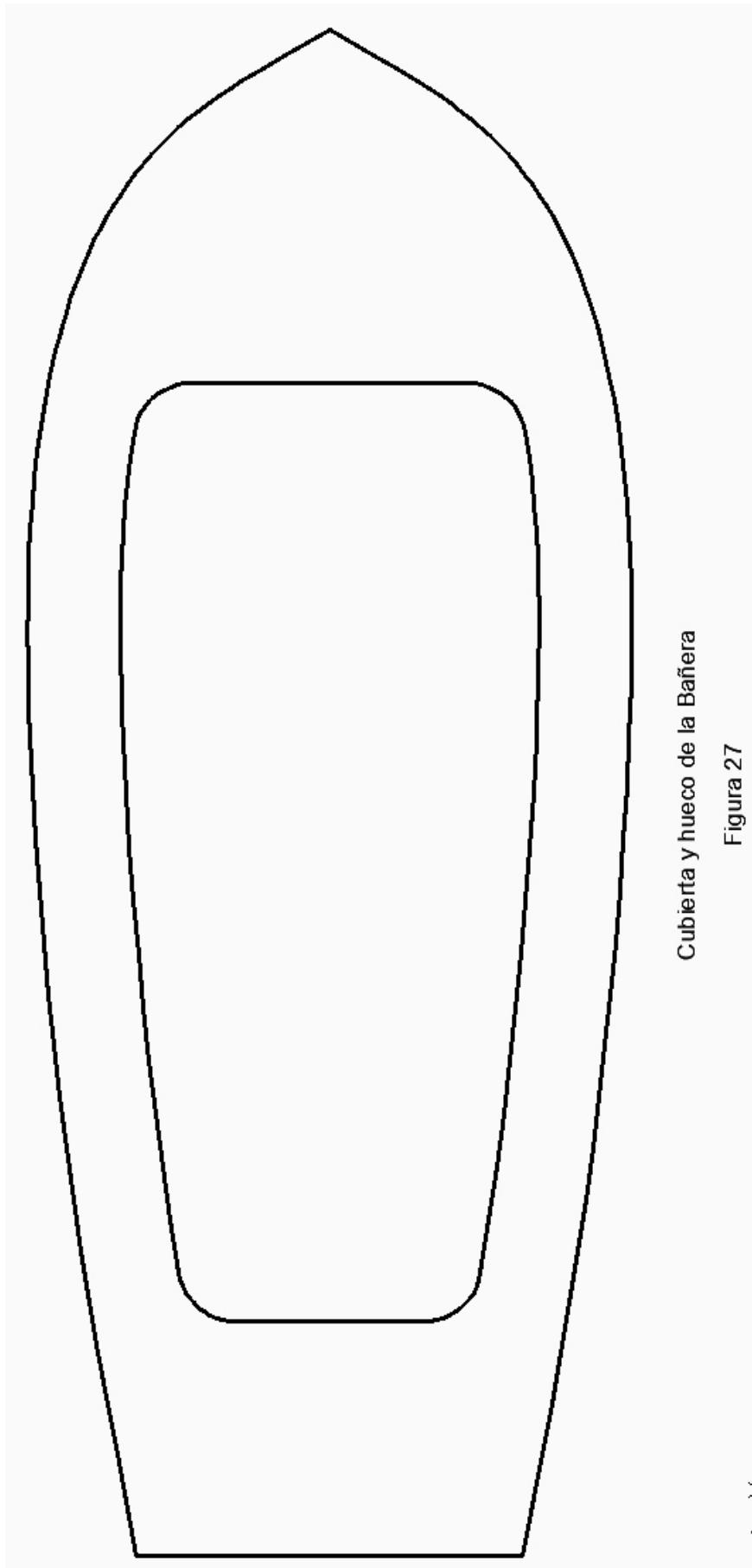
Forro del Fondo de Babor y Estribor

Figura 25



Forro del Costado Babor y Estribor

Figura 26



Cubierta y hueco de la Bañera

Figura 27

DISEÑANDO NUESTRO MODELO

Capítulo VI

Las Líneas

En capítulos anteriores hemos mencionado en repetidas ocasiones las “Líneas”, vamos a explicar cómo se trazan, qué son y para qué sirven.

Las “Líneas de Agua”, son rectas, paralelas y equidistantes a la línea de flotación prevista y se trazan tanto por encima como por debajo de esta, en los planos longitudinal y vertical.

Para su trazado (Figura 28) dibujamos unas líneas paralelas y equidistantes a la línea de flotación, cuantas más mejor, pero para un casco con carena en “V” con cuatro o cinco será suficiente. En los cascos con cuadernas redondas, sí hay que trazar el número máximo que nos permita la dimensión del dibujo, incluso en la parte de la obra muerta (por encima de la flotación).

Una vez trazadas las líneas en el plano longitudinal, las proyectamos al plano vertical y tomamos la distancia desde el eje de simetría hasta el punto donde se cortan cuaderna y línea de agua, esta distancia la trasladamos a la línea que representa la cuaderna en el plano horizontal.

Desde el punto donde la línea de agua corta la roda de proa, en el plano longitudinal, trazamos una línea vertical que corte al eje de simetría en el plano horizontal y la intersección nos indica el punto de arranque de la línea de agua.

Luego unimos con una curva el punto de inicio con los puntos proyectados a las cuadernas del plano horizontal y ya tenemos trazada la línea de agua. La continuidad y uniformidad de la curva nos indicará la perfección de nuestro diseño.

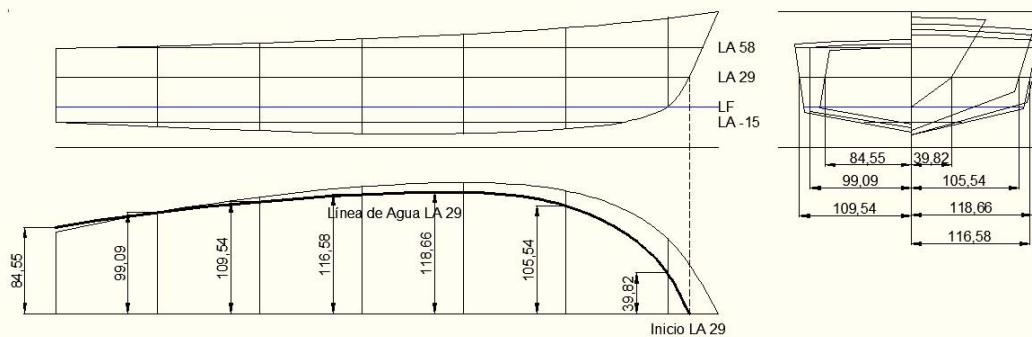


Figura 28

Para el resto de líneas de agua procederemos de la misma forma, sin olvidar que la línea de flotación prevista, también es una línea de agua más y se rige por los mismos principios.

Como fácilmente se puede deducir, la nomenclatura de una línea de agua se compone de dos letras mayúsculas “LA” y la distancia que la separa de la línea de flotación prevista. Positiva para las que están por encima y negativa para las que están por debajo.

Las “Diagonales” nos indican la continuidad del casco y por tanto nos pone de manifiesto cualquier problema que podamos encontrar a la hora de forrar el barco.

Vamos a representar las “Diagonales” en la (Figura 29), para mayor claridad del dibujo, hemos eliminado las líneas de agua y su nomenclatura.

Trazaremos una serie de líneas en el plano vertical, de forma que cada una de ellas corte a las cuadernas con un ángulo de 90 grados o lo más aproximado posible. Estas líneas se llaman “Diagonales” y se indican en el plano como “Diagonal A”, “Diagonal B” y así sucesivamente.

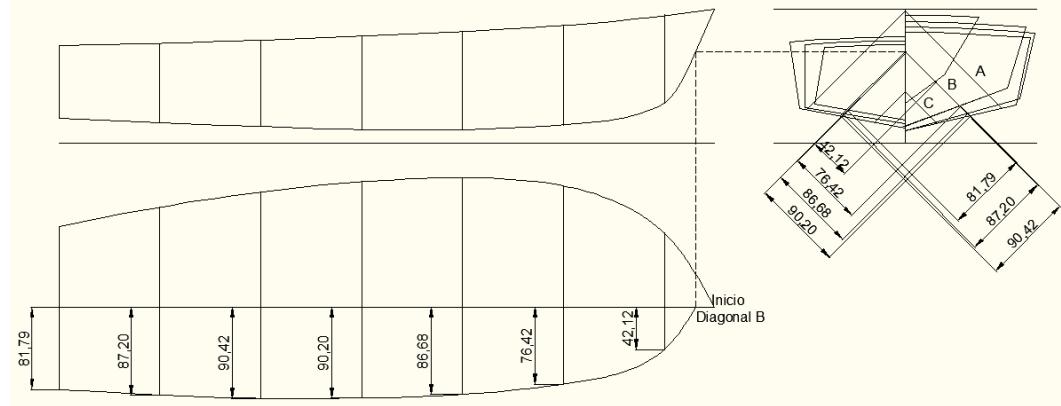


Figura 29

El punto de arranque de la diagonal es la intersección, en el plano vertical, de la línea diagonal con el eje de simetría. Trasladamos este punto al plano longitudinal y de aquí al plano horizontal.

A continuación tomamos la distancia de la diagonal, desde inicio en el eje de simetría a los puntos en que la diagonal corta a las cuadernas y se lleva esta distancia a la línea que representa la cuaderna en el plano horizontal. Es costumbre representar las diagonales en la parte inferior del plano.

Finalmente unimos con una curva, en el plano horizontal, el punto de arranque de la diagonal, con cada uno de los puntos marcados en la línea que representan las cuadernas.

La diagonal ha de ser una curva continua suave y uniforme, cualquier punto brusco denotará un error que deberemos averiguar donde se ha producido y corregirlo.

Las “Líneas de Contorno” es la última serie de líneas de control del casco y representan el flujo laminar del agua a través de este. Es bueno representar no menos de tres líneas de contorno, aunque a veces para simplificar sólo se representan dos.

En los barcos a motor y en la parte de popa las “Líneas de Contorno” deben seguir una dirección casi recta, eso significará que con una potencia adecuada se deslizará en el agua con facilidad.

En los barcos a vela, por el contrario, y también en su parte de popa deben presentar una curvatura hacia arriba, suave, gradual y sin brusquedades.

En los últimos años, algunos arquitectos navales proyectan los cascos a motor con una ligera curvatura hacia abajo, con el argumento de que esta forma aumenta la

velocidad y en competición, ya se sabe, cualquier décima ganada al cronómetro es bien recibida sin importar demasiado su costo.

Las líneas de contorno nos indican como el flujo laminar del agua se desliza a través del casco y para que la resistencia al avance por este motivo sea la menor posible vale la pena insistir en este aspecto y proceder a las modificaciones que creamos convenientes para favorecer en lo posible el deslizamiento del agua, lo que equivale a decir mejorar la velocidad de nuestro modelo.

En el plano horizontal, equidistante y paralelamente con el eje de simetría, trazamos una serie de líneas que nos van a servir para trazar las de contorno. El origen de estas líneas es la intersección de la propia línea con la amura para terminar en la intersección con la aleta. Estos puntos los trasladaremos al plano longitudinal

En el plano vertical y partiendo de la línea de base trazamos el mismo número de líneas y a la misma equidistancia del eje de simetría. Medimos las distancias de la línea de base a la intersección de la línea de contorno con las cuadernas y la trasladamos al plano longitudinal, cada una de ellas a su correspondiente cuaderna.

Desde el punto de inicio, que previamente hemos trasladado del plano horizontal, trazamos una curva que pase por todos los puntos trasladados a las diferentes cuadernas y termine en el punto final que también hemos trasladado previamente desde el plano horizontal.

A veces, puede suceder que para obtener el número de líneas de contorno que deseamos o necesitamos para la comprobación del diseño, especialmente en las proximidades de la borda alguna línea, no pueda guardar la misma equidistancia, esto no representa ningún problema siempre que en los planos horizontal y vertical mantengamos la misma disposición.

En las figuras siguientes se puede ver gráficamente todo el proceso. Lo hemos hecho por partes y a diferente escala para poder ver con claridad el procedimiento.

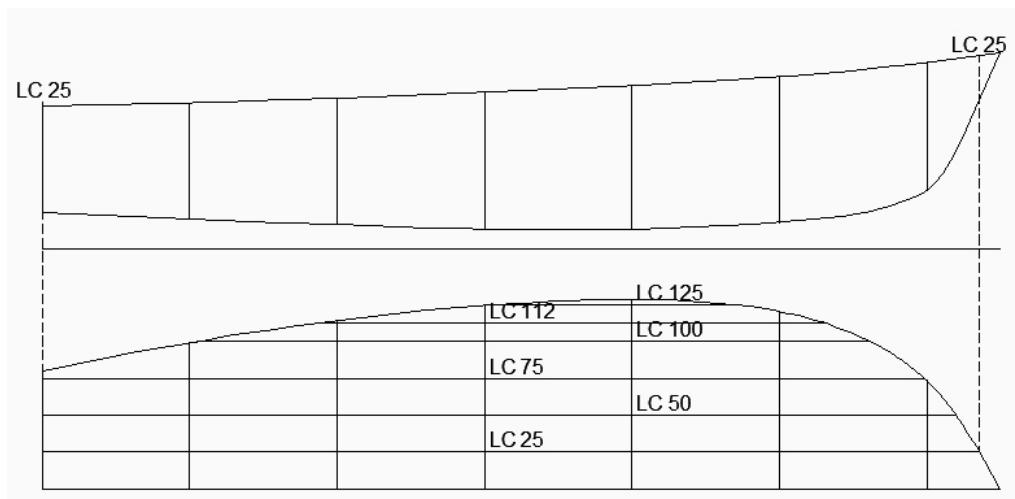


Figura 30

La (Figura 30) nos muestra como trasladar desde el plano horizontal al longitudinal el inicio y final de la línea de contorno “LC 25”.

LC 25

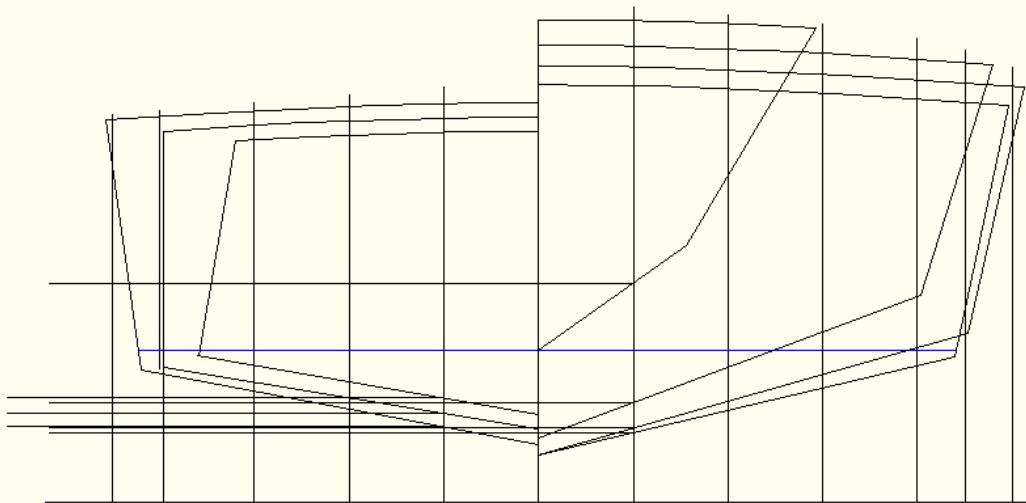


Figura 31

La (Figura 32) nos muestra como trasladar al plano longitudinal los puntos donde la línea de contorno “LC 25” corta a las cuadernas 0 a 6. Para claridad del dibujo no se representan las distancias desde la línea de base a la intersección con la cuaderna.

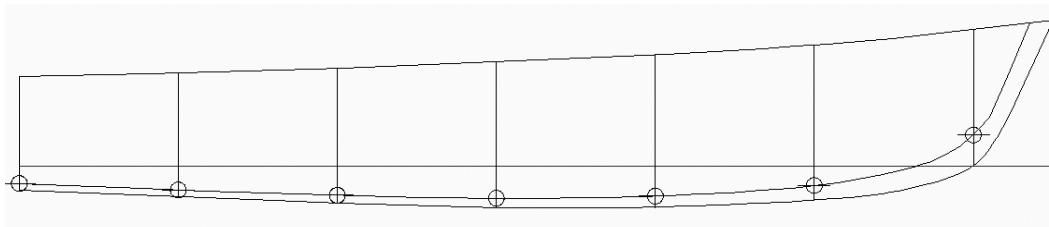


Figura 32

Y finalmente trazamos una curva desde el inicio de la línea de contorno “LC 25”, hasta su final pasando por las intersecciones de las cuadernas 0 a 6.

Hagamos un pequeño resumen de las líneas:

Las Líneas de Agua:

Son paralelas y equidistantes a la línea de flotación.

Del plano vertical se toman las distancias del eje de simetría al punto de intersección.

Estos puntos trasladados al plano horizontal nos sirven para trazar las curvas.

Estas curvas nos indican como es la silueta del casco.

Las curvas generadas por las líneas de agua, deben ser continuas y suaves, sin brusquedades o cambio de dirección.

Las Diagonales:

Se diseñan en el plano vertical, procurando que corten a las cuadernas en un ángulo lo más cercano a los 90°.

Se toma la distancia del eje de simetría, a los puntos de intersección.

Esta distancia se lleva al plano horizontal y se unen estos puntos.

Las curvas resultantes deben tener un trazado muy continuo.

Las Líneas de Contorno:

Se trazan en el plano vertical equidistantes al eje de simetría.

Se toman las distancias desde la línea de base a la intersección de las cuadernas con las líneas de contorno.

Estos puntos se trasladan al plano longitudinal y se unen mediante una curva.

A partir del máximo calado deben presentar un ascenso continuo y sin brusquedades.

Nos dan idea del flujo laminar del agua a través del casco.

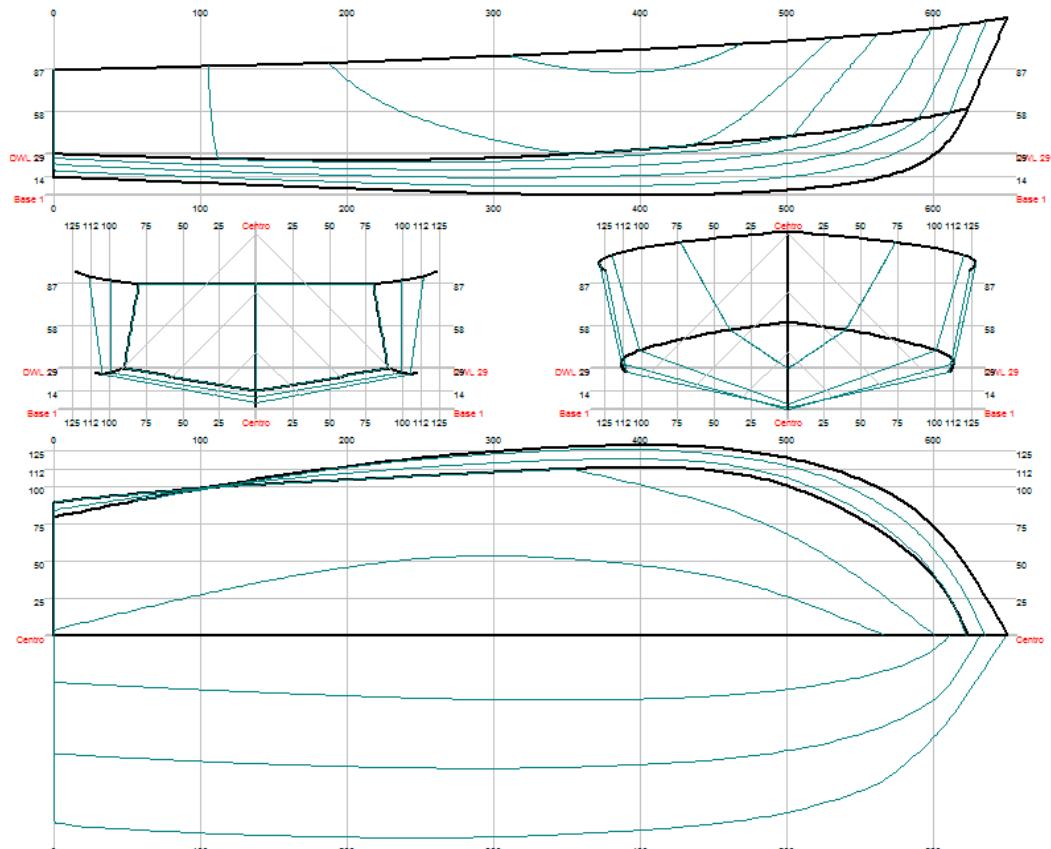


Figura 33

En la (Figura 33) podemos ver nuestro plano de líneas completamente terminado. Ahora ya estamos en disposición de poder identificar cada una de las líneas que componen nuestro plano, su función y la forma de obtenerla.

Se ha escogido esta forma poco ortodoxa de representar el plano para aprovechar al máximo el espacio disponible y así poder ver a mayor tamaño todos los detalles. Este plano a tamaño natural, escala 1:1, está a disposición de todos los miembros de nuestra asociación **“Avante”** que lo soliciten.

DISEÑANDO NUESTRO MODELO

Capítulo VII

El Desplazamiento y El Centro Longitudinal de Empuje

Cuenta la historia o tal vez es leyenda o un poco de las dos cosas que el rey Hierón II ordenó fabricar una corona y dudando de la honradez del orfebre, encargó a Arquímedes que determinara si la corona estaba hecha sólo de oro o si el orfebre había agregado plata u otros metales.

Para resolver el enigma, Arquímedes, no podía cortar o fundir la corona, ni siquiera dañarla. Mientras tomaba un baño, notó que al introducirse en la bañera su cuerpo desplazaba el agua y por tanto el nivel de esta ascendía. Como el agua es incomprensible se dio cuenta que al sumergir la corona desplazaría una cantidad de agua equivalente a su volumen, así dividiendo el peso de la corona por el volumen de agua desplazado, podría determinar la densidad del material con que estaba construida y por tanto determinar si era de oro puro.

Se dice que Arquímedes estaba tan eufórico por su hallazgo que salió de la bañera y sin vestirse, desnudo por las calles, gritaba *¡Eureka!, ¡Eureka!*

“Todo cuerpo sumergido en un líquido experimenta un empuje hacia arriba igual al peso del líquido desalojado”

Cualquier embarcación puesta en el agua desplazará una masa de agua equivalente a su peso. El desplazamiento que vamos a calcular es el relativo a la línea de flotación prevista en nuestro proyecto.

En general se consideran tres clases de desplazamiento:

Desplazamiento en Rosca: Es el peso del buque vacío, tal como lo entrega el astillero que lo ha construido. El buque aún no es apto para la navegación.

Desplazamiento en Lastre: Es el peso del buque equipado. Es el desplazamiento en rosca más el peso de los pertrechos, provisiones, agua, combustible y tripulación, pero, sin carga. El buque es apto para la navegación. El agua de lastre se define como:

“El agua, con las materias en suspensión que contenga, cargada a bordo de un buque para controlar el asiento, la escora, el calado, la estabilidad y los esfuerzos del buque”

Su uso está regulado por el **“CONVENIO INTERNACIONAL PARA EL CONTROL Y LA GESTIÓN DE AGUAS Y SEDIMENTOS DE LASTRE (2004)”**

Desplazamiento en máxima carga: Corresponde al buque cargado hasta la línea de máxima carga permitida.

Y como complemento añadiremos dos conceptos más:

Porte: Que es la diferencia entre desplazamiento en lastre y desplazamiento en máxima carga.

Peso muerto: Es la diferencia entre desplazamiento en máxima carga y el desplazamiento en rosca, es decir, el peso máximo que el buque puede cargar.

Muchos cálculos se basan en el desplazamiento y por esta razón su determinación es tan importante. Para su obtención debemos calcular la superficie de la parte sumergida es decir la obra viva.

Este cálculo se puede obtener por diferentes procedimientos, matemáticas, programas de diseño que calculan el área de una figura geométrica, o el método de poner sobre la cuaderna una hoja transparente con una cuadrícula, contar los cuadrados y multiplicar estos por su superficie. El más adecuado dependerá de la complejidad de la figura. El más exacto siempre será el matemático, pero si tenemos oxidados nuestros conocimientos matemáticos el de la cuadrícula da un resultado bastante satisfactorio.

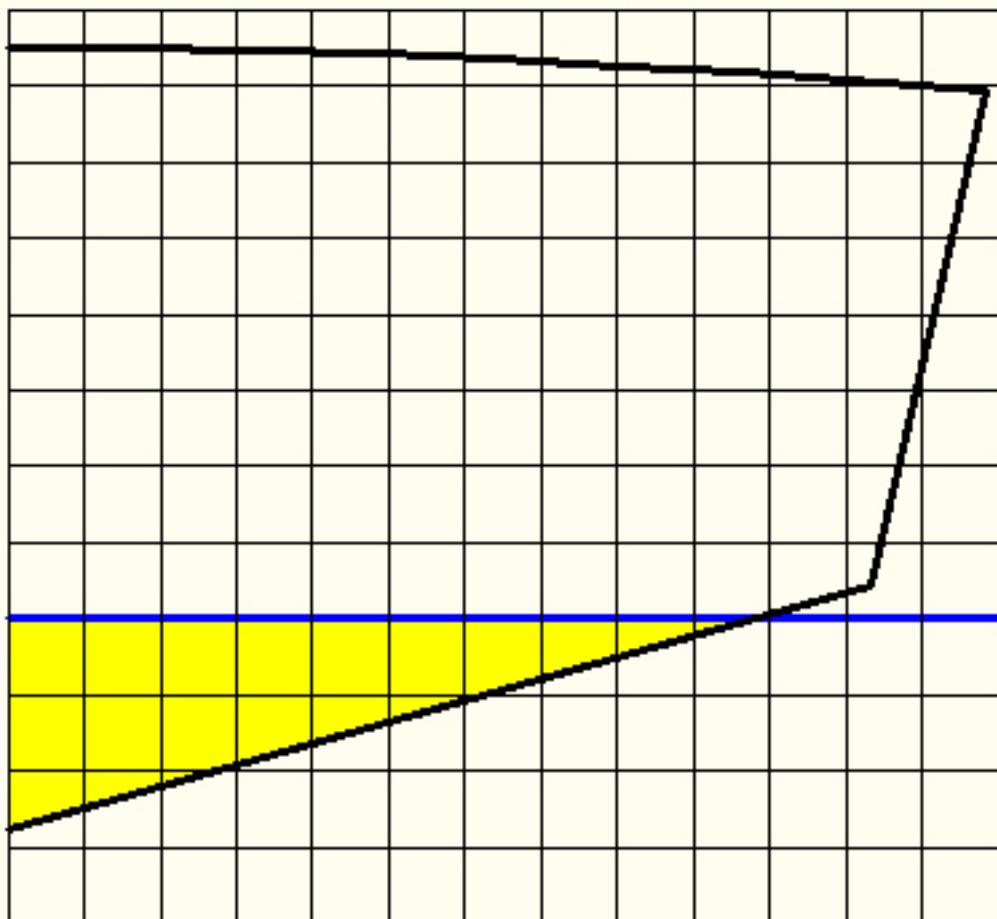


Figura 34

En la (Figura 34) vemos la mitad de la cuaderna de proyecto número 2 (recordar que la designamos por su número en el plano, no por la posición) a la que le hemos superpuesto una cuadrícula de 10 por 10 milímetros de lado para medir la semi área, es decir que cada cuadro tendrá 100 milímetros cuadrados. Luego ya multiplicaremos por 2.

Contamos los cuadrados que quedan dentro de la semi cuaderna y obtenemos 8 cuadrados completos y haciendo combinaciones con las partes del resto de cuadrados podemos completar 5 cuadrados y un poco más, digamos 0,5 que sumados a los anteriores nos dan un total de 13,5. Estos 13,5 cuadrados multiplicados por 100 arroja un total de 1.350,00 milímetros cuadrados. La superficie que hemos obtenido con la aplicación de las matemáticas nos ha dado 1.348,36 milímetros cuadrados, es decir, el sistema de la cuadrícula nos da una diferencia por exceso de 0,001%, en la práctica, perfectamente despreciable.

En el caso del “Avante” el cálculo matemático es muy fácil, ya que podemos descomponer la parte de obra viva de la cuaderna en dos triángulos rectángulos cuya fórmula para hallar el área es: $a = \frac{b \times h}{2}$, donde a es igual al área de la figura que queremos hallar, b es igual a la base y h es igual a la altura, todo ello partido por 2 nos dará la superficie que buscamos.

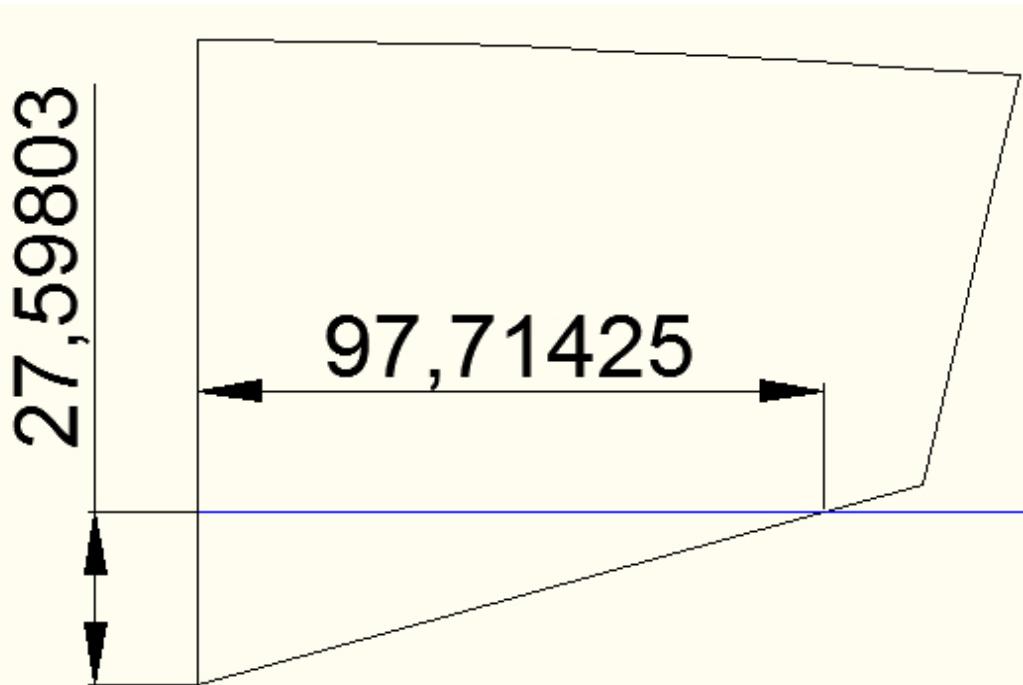


Figura 35

$a = \frac{97,71425 \times 27,59803}{2} = 1.348,3582$, valor que redondearemos a dos decimales y por tanto vamos a considerar 1.348,36. Como hemos trabajado con semi áreas, ahora deberíamos multiplicar por dos para obtener la superficie total, pero, en este caso concreto, no lo vamos a hacer ya que en la tabla para el cálculo del desplazamiento hay un apartado donde contemplamos esta operación multiplicando la suma de todas las semi áreas por 2.

Normalmente en la tabla para hallar el desplazamiento, se calcula también el Centro Longitudinal de Empuje. El C.L.E. es un punto ideal donde se considera que convergen todas las fuerzas que el agua ejerce sobre el casco y hace que este pueda flotar. En un barco normal este punto se encuentra siempre a popa de la cuaderna maestra. Como se alimenta de los datos que hemos utilizado para el cálculo del desplazamiento, es por esta razón que se elabora en la misma tabla.

La figura siguiente nos muestra la tabla para el cálculo del desplazamiento y la posición del Centro Longitudinal de Empuje de nuestro proyecto, calculado por el método de Simpson, suficientemente exacto para barcos de hasta 10 metros y por supuesto para las esloras que solemos construir.

Vamos a comentar, de forma sucinta, los diferentes apartados de la tabla, (Figura 36), aún cuando la mayoría de ellos no necesitan explicación, pues su función queda muy clara con la simple observación de la misma: Empezaremos por las cuatro primeras columnas que corresponden a la obtención del desplazamiento.

Tabla de Desplazamiento del "Avante"								
Sección	Semi Área	Nº. De Simpson	Función	Sección	Momentos	Suma de Momentos	Sentido del Momento	
0	0,00	1	0,00	3	0,00			
1	718,59	4	2.874,36	2	5.748,72			
2	1.348,36	2	2.696,72	1	2.696,72	8.445,44	Proa	
3	1.633,68	4	6.534,72	0	0,00			
4	1.582,18	2	3.164,36	1	3.164,36			
5	1.258,57	4	5.034,28	2	10.068,56			
6	818,60	1	818,60	3	2.455,80	15.688,72	Popa	
Suma de funciones		21.123,04	Momentos a Popa		7.243,28			
Por 2 semi áreas		2,00	Separación secciones		100,00			
Total de Funciones		42.246,08	Mtos. x Separación		724.328,00			
Separación secciones		100,00	Suma de Funciones		21.123,04			
Total		4.224.608,00	Divisor		34,29			
Divisor		3,00						
Volumen Obra Viva		1.408.202,67						
Densidad del Agua 1,026		1,03						
Desplazamiento		1.444.815,94	El Centro Longitudinal de Empuje se halla a 34,29 milímetros a popa de la sección maestra.					
Divisor		1.000.000,00						
Desplazamiento en Kg.		1,44						
La embarcación desplaza 1,44 kilos.								

Figura 36

“Sección” representa la cuaderna o sección.

“Semi Área” es la superficie de media cuaderna, contada a partir de la línea de flotación prevista y la línea de crujía, hasta el canto inferior de la quilla.

“Nº. de Simpson” es un multiplicador. Para la primera y última cuaderna su valor es “1”, la segunda y penúltima su valor es “4”, la tercera y antepenúltima tomará el valor de “2” y luego se irán repitiendo sucesivamente los valores 4,4; 2,2.

“Función” es el producto de multiplicar “Semi Área” por “Nº. de Simpson”.

Las siguientes columnas son para calcular la posición del Centro Longitudinal de Empuje a lo largo del eje de simetría.

“Sección” es una columna de control. Numeraremos la cuaderna central con la cifra “0” y seguiremos con “1”, “2”, “3”, etc. en orden ascendente, e igualmente en orden descendente. La suma del número de la primera y última cuaderna ha de coincidir con el número de cuaderas.

“Momentos” Es el producto de multiplicar “Función” por “Sección”

“Suma de momentos” Es la suma de los momentos desde la cuaderna “0” hasta la central. Y desde la cuaderna central hasta la última.

“Sentido del momento” indica los momentos que están a proa y los que están a popa de la cuaderna central.

Vamos a comentar a continuación las filas:

“Suma de funciones” es la suma de la superficie de todas las cuadernas multiplicadas por el número de Simpson.

“Por 2 semi áreas” como hemos calculado la superficie de media cuaderna para obtener el total multiplicamos por 2.

“Total de funciones” es el resultado de aplicar el punto anterior.

“Separación de secciones” es la separación entre cuadernas. Las cuadernas de diseño se sitúan todas a la misma distancia. (Véase párrafo precedente)

“Total” es el “Total de funciones” multiplicado por la distancia entre cuadernas.

“Divisor” dividimos por 3 para obtener el volumen de la obra viva.

“Volumen obra viva” resultado del apartado anterior.

“Densidad del agua” valor aceptado para densidad del agua en nuestras latitudes y en condiciones atmosféricas normales.

“Desplazamiento” peso expresado en miligramos.

“Divisor” conversión a Kg.

En este caso concreto el desplazamiento es de 1,44 Kg.

Ahora pasemos al cálculo para establecer la posición del C.L.E.

“Momentos a popa” es el resultado de restar el mayor de los momentos del menor. La resultante será a proa o a popa según tenga este sentido el mayor de los momentos.

“Separación secciones” es la separación entre cuadernas. (Ver nota al respecto)

“Mtos. x separación” resultado de multiplicar las dos filas anteriores.

“Suma de funciones” es la suma de la superficie de todas las cuadernas multiplicadas por el número de Simpson. (Se toma de la tabla del desplazamiento)

“Divisor” resultado de dividir “Mtos. x separación” por “Suma de funciones”

Así, pues, este cálculo nos determina que el Centro Longitudinal de Empuje se encuentra a 34,29 milímetros a popa de la cuaderna maestra.

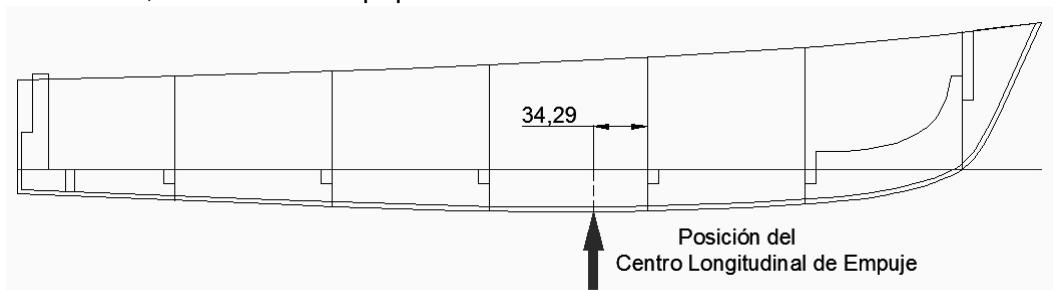
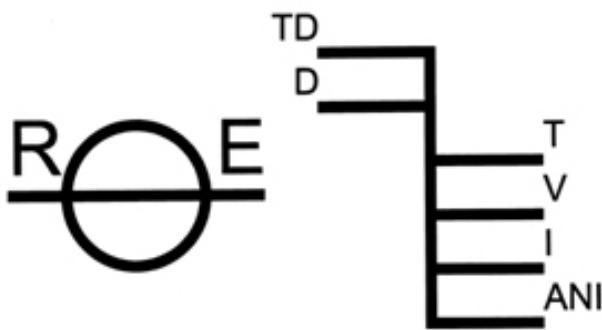


Figura 37

En la (Figura 37) podemos ver la posición que ocupa el C.L.E. o sea el punto teórico donde se aplica la resultante de todas las fuerzas que el agua ejerce hacia arriba en el casco del barco.

Decíamos antes que el peso de la masa de agua que desplaza una embarcación es igual al peso de la embarcación, ya se trate de agua salada o dulce. Si medimos la cantidad de agua en litros, observamos que la embarcación desplaza mayor número de litros en agua dulce que en agua salada y el número de litros desplazados estará en proporción inversamente proporcional a la densidad del agua. Pero el peso en Kg. es el mismo.

También en función de la densidad del agua la embarcación calará más o menos y esto nos lleva a la utilidad de la línea Plimsoll, nombre de su creador y obligatoria en todos los buques mercantes, que determina, legalmente, el límite máximo de calado de una embarcación. La línea del "Registro Español" la podemos ver en la (Figura 38).



Las letras iniciales tienen el siguiente significado: TD, Trópico agua Dulce; D, agua Dulce; T, Trópico; V, Verano; I, Invierno; ANI, Atlántico Norte Invierno.

Sabido es que la temperatura y la salinidad influyen en la densidad del agua y el calado es inversamente proporcional a la densidad del agua.

Figura 38

Un barco que toma su carga en un puerto del Atlántico Norte en Invierno, tiene un calado determinado, si el destino de este barco es un puerto fluvial del trópico, resultará que por la menor densidad del agua del puerto de destino, su calado ha aumentado. Este aumento de calado, puede hacer peligrar la estabilidad del barco e incluso hacerlo naufragar.

Por tanto, este mismo barco no podrá rebasar la línea ANI, cuando llegue a su destino, al producirse un aumento de calado no rebasará la línea TD, con lo cual la seguridad de navegación está, en todo momento, garantizada. La línea Plimsoll es personal e intransferible para cada embarcación. Para unas condiciones óptimas de comportamiento de la embarcación, el Centro de Gravedad, debe de estar situado en la vertical del C.L.E., pero esto lo explicaremos en un próximo capítulo.

DISEÑANDO NUESTRO MODELO

Capítulo VIII

El Centro Vertical de Empuje

Recordemos que en el capítulo “VII”, decíamos: C.L.E. es un punto ideal donde se considera que convergen todas las fuerzas que el agua ejerce sobre el casco y hace que este pueda flotar.

El Centro Longitudinal de Empuje, nos determina un punto a lo largo de la quilla del barco y por este punto podemos considerar que pasa una línea vertical que va desde el canto inferior de la quilla hasta la cubierta, pero no nos determina la posición a lo largo de esta línea vertical. Esta posición es lo que llamamos “Centro Vertical de Empuje”.

El punto donde se encuentran las tres líneas, longitudinal o eje de crujía, vertical y transversal, nos determina, en un plano tridimensional, el punto ideal donde convergen todas las fuerzas que el agua ejerce sobre el casco y hace que este pueda flotar.

Ya sabemos cómo encontrar el C.L.E., ahora debemos determinar su altura sobre o bajo la línea de flotación. En un casco normal (aquel cuya manga no sea inferior a un cuarto de la eslora y sin peso excesivo más alto de la línea de arrufo) no es necesario efectuar este cálculo, pero si alguien quiere diseñar una embarcación un poco fuera de lo normal, explicaremos el sistema para encontrar el C.V.E. (Centro Vertical de Empuje).

El concepto es exactamente igual al utilizado para el C.L.E., con la única diferencia de que en vez de partir de las semi-áreas de las cuadernas, se parte de la superficie contenida por las líneas de agua, comenzando por la línea de flotación prevista y procediendo hacia abajo.

También en este caso el número de las líneas de agua debe ser tal, que forme un número par de espacios (Figura 39), cuya separación debe ser, naturalmente, la misma, la numeración parte de cero en correspondencia con la línea de flotación prevista y el cálculo es similar al ya explicado con los números de Simpson, las funciones, los momentos, etc. El resultado dará la distancia del C.V.E., por encima o por debajo de la línea de flotación prevista, definida como “Línea de Agua Maestra” de entre las consideradas.

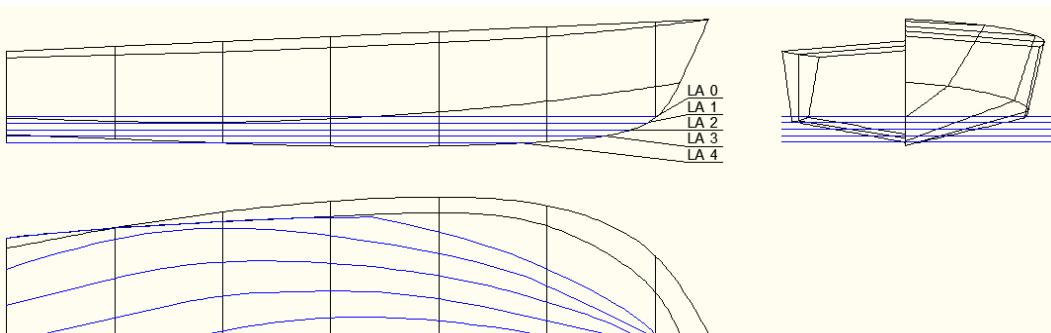
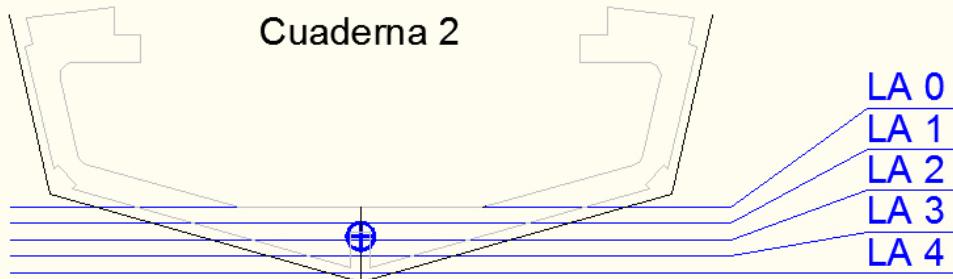


Figura 39

Cálculo del C. V. E. del "Avante"									
Línea de Agua	Semi Área	Nº. De Simpson	Función	Línea de Agua	Momentos	Suma de Momentos	Diferencia Momentos	Sentido Momento	
0	52.878,32	1	52.878,32	2	105.756,64				
1	43.500,61	4	174.002,44	1	174.002,44	279.759,08			
2	28.493,74	2	56.987,48	0	0,00		220.432,12	Sobre	
3	13.318,68	4	53.274,72	1	53.274,72				
4	3.026,12	1	3.026,12	2	6.052,24	59.326,96			
Suma de Funciones			340.169,08	Multiplicador x 2			440.864,24		
				Divisor			340.169,08		
							1,30		
El Centro Vertical de Empuje se halla a 1,30 milímetros sobre la Línea de Agua LA 2.									

Figura 40

Posición Centro de Empuje



34,29 mm. a popa y 10,70 mm. bajo Línea Flotación Prevista

Figura 41

Ya estamos en disposición de situar el "Centro de Empuje" porque sabemos cómo calcular la posición donde se encuentran los tres ejes que sitúan un punto en el espacio. Estos ejes, como ya hemos dicho, son: "El eje de Crujía", "El Centro Longitudinal de Empuje" y "El Centro Vertical de Empuje".

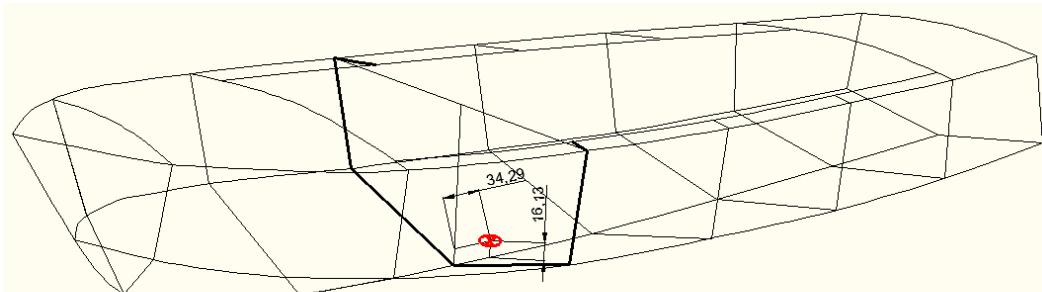


Figura 42

Así pues, el Centro de Empuje quedará situado a 34,29 mm. a popa de la cuaderna 2 y a 16,13 mm. sobre el canto bajo de la quilla, en ese punto.

DISEÑANDO NUESTRO MODELO

Capítulo IX

El Centro de Gravedad

Supongamos que tenemos un balancín en equilibrio y supongamos que aplicamos un peso de 2 Kg. a 3 metros del centro: el balancín perderá su equilibrio inicial y se inclinará hacia el lado donde hemos colocado el peso.

Para volver a equilibrar el balancín, el sistema más simple es poner un peso igual y a la misma distancia, pero en la parte opuesta. Supongamos que sólo disponemos de un peso de 4 Kg., evidentemente la distancia no podrá ser la misma, sino aquella en que los 4 Kg. anulen el efecto del primer peso. Se trata de crear con elementos diversos un momento de valor igual y contrario al primero.

El momento que ha creado el primer peso es de 6 Kg., (2×3) y para obtener el mismo valor con el peso de 4 Kg. lo hemos de situar a una distancia de 6 dividido entre 4, cuyo resultado es 1,5; el peso de 4 Kg. lo hemos de situar, pues, a una distancia de 1,5 m. y en el lado opuesto del peso de 2 Kg. Con lo cual el balancín volverá a estar equilibrado ya que $4 \times 1,5 = 6$.

Decimos que una embarcación tiene un arreglo perfecto, se asienta en el agua según su línea de flotación prevista, cuando su Centro de Gravedad se encuentra exactamente en la vertical del Centro Longitudinal de Empuje, es uno de los cálculos más importantes y absolutamente necesarios.

En embarcaciones de pequeño porte, se acostumbra a dar por sentado que el Centro de Gravedad del casco se encuentra en su posición exacta. Es sorprendente la cantidad de casos, en la realidad, en que este supuesto es prácticamente cierto, pero si se quiere estar absolutamente seguro es necesario efectuar este cálculo.

Hemos de hacer hincapié que el párrafo anterior se refiere al casco de la embarcación, es decir, sin motor, baterías, servos, receptor, transmisión, cardan y demás elementos necesarios para su navegación y gobierno.

El cálculo no es complicado, pero si requiere bastante precisión. Hay quien prescindiendo de todos estos detalles, cuando la embarcación está en el agua y en función de su flotabilidad distribuye pesos en su interior hasta lograr un asiento aceptable. Pero, aumentando el desplazamiento, lastrando innecesariamente y haciendo que el calado también aumente, modificando las condiciones de navegación casi siempre a peor, muy raramente con esta técnica se mejora su comportamiento.

Así, pues, vamos a calcular como afecta la colocación o posición de los diferentes elementos que necesariamente debe llevar toda embarcación para que pueda navegar. En nuestro caso calcularemos el efecto que produce las baterías del receptor, la posición del motor y las baterías que lo alimentan y en general todos aquellos elementos cuya masa o peso sea importante en proporción al desplazamiento de nuestro modelo.

Confeccionaremos una tabla (Figura 43) y en ella anotaremos cada uno de los elementos importantes (en peso) del equipamiento. Pondremos el peso de cada uno de ellos y la distancia a la que se halla del Centro Longitudinal de Empuje, indicando su sentido, es decir si esta distancia es a proa o a popa. Multiplicando el peso por la

distancia hallaremos el momento de ese elemento cuyo sentido (proa o popa) será el indicado anteriormente.

Tabla distancia Centro de Gravedad del "Avante"				
Elemento	Peso grms.	Distancia mm.	Momentos	
			A Proa	A Popa
Motor	182,00	158,71	28.885,22	
Cardán Transmisión	21,00	114,68	2.408,28	
Batería a Proa (119x2)	238,00	105,03	24.997,14	
Bandeja recoge grasa	15,00	104,29	1.564,35	
Engrasador Eje Transmisión	12,00	98,89	1.186,68	
Batería Central (119x2)	238,00	44,29	10.541,02	
Batería Receptor	131,00	38,74		5.074,94
Batería a Popa (119x2=)	238,00	45,00		10.710,00
Arbol de Transmisión	30,00	95,62		2.868,60
Servo Luces	11,00	133,16		1.464,76
Interruptor Radio	10,00	133,16		1.331,60
Receptor Radio	43,00	233,71		10.049,53
Servo Dirección	46,00	238,46		10.969,16
Regulador Velocidad	41,00	250,71		10.279,11
Sistema transmisión timón	50,00	331,90		16.595,00
Totales	923,00		69.582,69	69.342,70

Diferencia de momentos	
Momentos a Proa	69.582,69
Momentos a Popa	69.342,70
Diferencia a Proa	239,99

Determinación Centro de Gravedad	
Total Momentos a Proa	239,99
Peso total	923,00
Cociente	0,26

El Centro de Gravedad se halla a 0,260 mm. a Proa del C.L.E.
--

Figura 43

Hallaremos la suma total del peso y la de los momentos a proa y popa. Restaremos el menor del mayor y el resultado nos indicará el momento resultante. Si el momento mayor es el de proa, la resultante también lo será. Si el momento mayor es hacia popa la resultante también tendrá este sentido.

Acto seguido dividiremos la diferencia de momentos por el total de los pesos y el resultado nos indicará la distancia a la que se halla el Centro de Gravedad del Centro Longitudinal de empuje. Si el total de momentos es hacia proa también será hacia proa la distancia del Centro de Gravedad con respecto al Centro Longitudinal de Empuje y viceversa.

Si hemos operado con Kg. y metros el resultado serán metros, en cambio si las unidades de nuestra tabla están expresadas en gramos y milímetros el resultado serán milímetros.

Estos cálculos no deben asustar a nadie, en un diseño "normal", el Centro de Gravedad acaba siempre, por increíble que parezca, cerca del punto en que debería estar. De todas formas siempre es conveniente dejar algún elemento por colocar hasta encontrar el punto donde la flotación real se acerque a la que indica el plano.

Vale la pena insistir un poco en esta fase de nuestro diseño, pues, el tiempo que dediquemos a lograr un buen equilibrio de nuestro barco, será recompensado con creces en las muchísimas singladuras de navegaciones perfectas, sin sobresaltos y sin necesidad de cargar innecesariamente nuestro modelo. Ver (figura 44)

El uso de modelos para los cálculos de resistencias se remonta a varios siglos atrás. En su época Leonardo da Vinci ya se entretenía en remolcar modelos y tal vez tuvo alguna influencia en la desafortunada tendencia de diseñar los barcos con líneas muy redondas a proa y muy finas a popa, es decir la regla que durante tanto tiempo perduró de **“cabeza de bacalao y cola de sardina”**.

Los holandeses fueron muy precoces en el estudio de modelos remolcados, pero fueron los franceses quienes tuvieron los primeros resultados efectivos mediante la observación más cualitativa que cuantitativa, aunque su gran fallo fue no saber definir la resistencia, pues era común la idea que la resistencia era debida a la inevitable formación de olas, por el convencimiento que había en aquella época que el rozamiento entre la superficie del casco y el agua era despreciable.

Hoy en día sabemos que esto es un gran error y ha sido necesario establecer una relación matemática entre el modelo, con sus dimensiones y el buque de tamaño natural. Fue William Froude (1810-1879) quien redescubriendo a Isaac Newton y con la inestimable colaboración de Lord Rayleigh sentó las bases para las experiencias con modelos que aún hoy en día se utilizan.

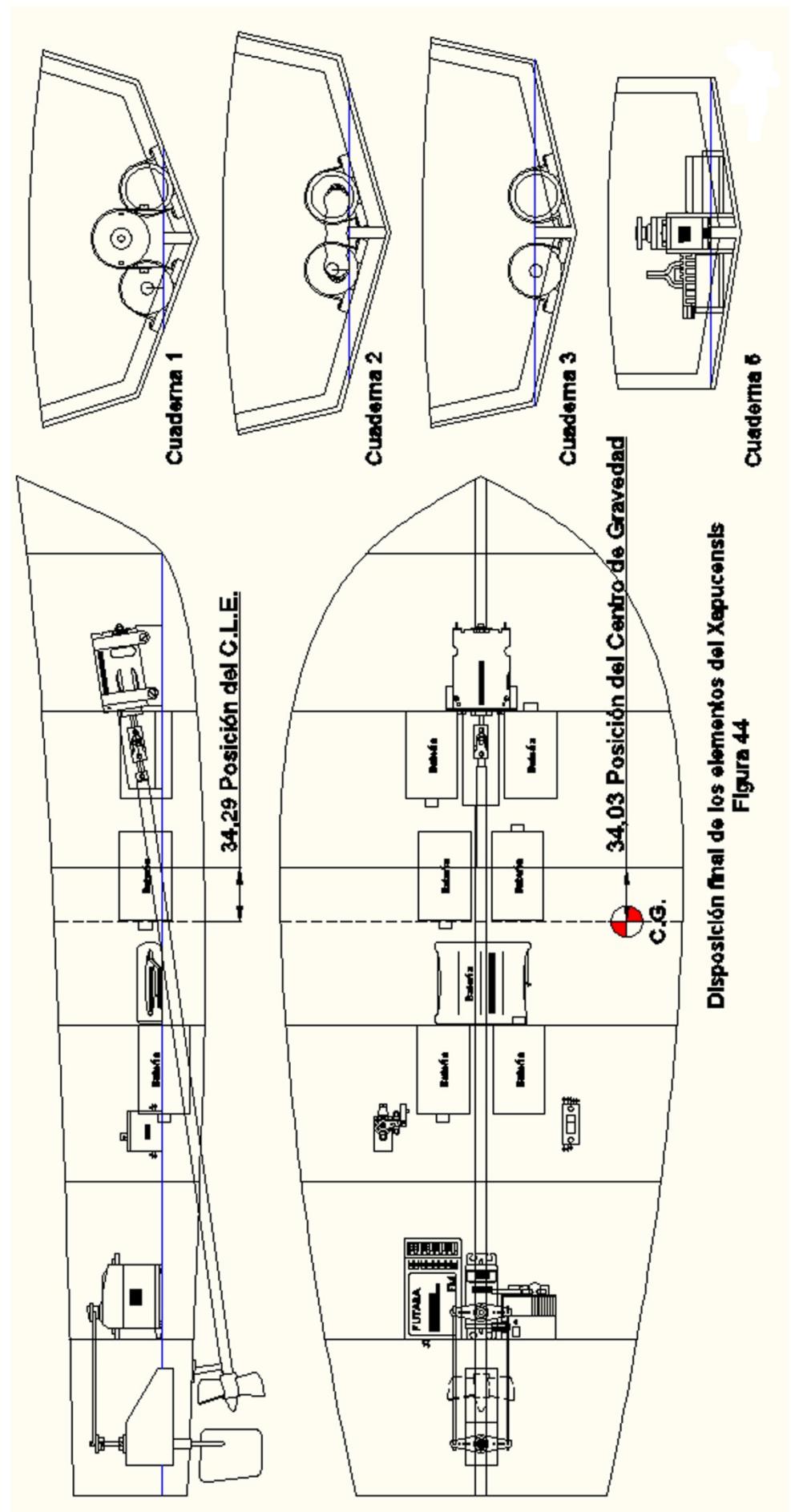
Naturalmente con el paso del tiempo y la mejora del conocimiento se han introducido una serie de perfeccionamientos que de forma general han cambiado las técnicas del remolque de modelos, fue Osborne Reynolds quien solucionó el problema de la viscosidad que tantos quebraderos de cabeza había producido.

Froude, padre de la arquitectura naval moderna, tuvo una enconada lucha con el Almirantazgo Inglés para la construcción de un canal de pruebas, finalmente salió airoso de su empeño y en 1871, en Chilton Cross, Torquay se hizo realidad su sueño e inició sus famosos estudios relativos al rozamiento del forro exterior. También amplió la teoría de la semejanza mecánica y sentó la ley que lleva su nombre y que enuncia la relación existente entre el modelo y el buque.

En España tenemos el CEHIPAR o Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (www.cehipar.es).

Pero, falta más. Para situar un punto en el espacio necesitamos la intersección de tres rectas, de momento tenemos dos, el eje de crujía o simetría y la posición a lo largo de este, (recuérdese 0,26 mm. a proa del C.L.E.). Para hallar esta tercera línea que necesitamos, debemos proceder exactamente igual a como lo hemos hecho, pero, con la diferencia que nuestro plano fundamental será la línea de flotación situando los momentos de los componentes por encima o por debajo de la línea de flotación.

La diferencia de momentos nos indicará el sentido y la distancia, es decir, si el centro de gravedad se halla por encima o por debajo de la línea de flotación y a qué altura. Por tanto procederemos exactamente igual a como lo hicimos en la tabla de la (Figura 43), sólo que en lugar de establecer los valores a proa o popa, los estableceremos sobre o bajo la Línea de Flotación. (Figura 45).



Disposición final de los elementos del Xapucensis
Figura 44

Tabla altura Centro de Gravedad del "Avante"

Elemento	Peso grms.	Distancia mm.	Momentos	
			Sobre L.F.	Bajo L.F.
Motor	182,00	27,56	5.015,92	
Cardán Transmisión	21,00	15,30	321,30	
Batería a Proa (119x2)	238,00	10,96	2.608,48	
Bandeja recoge grasa	15,00	15,09	226,35	
Engrasador Eje Transmisión	12,00	12,59	151,08	
Batería Central (119x2)	238,00	10,96	2.608,48	
Batería Receptor	131,00	8,00	1.048,00	
Batería a Popa (119x2=)	238,00	0,80		190,40
Arbol de Transmisión	30,00	17,44		523,20
Servo Luces	11,00	11,00	121,00	
Interruptor Radio	10,00	11,00	110,00	
Receptor Radio	43,00	5,04		216,72
Servo Dirección	46,00	18,30	841,80	
Regulador Velocidad	41,00	1,92	78,72	78,72
Sistema transmisión timón	50,00	47,44	2.372,00	2.372,00
Totales	1.306,00		15.503,13	3.381,04

Diferencia de momentos		
Momentos a Proa		15.503,13
Momentos a Popa		3.381,04
Diferencia a Proa		12.122,09

Determinación Centro de Gravedad		
Total Momentos a Proa		12.122,09
Peso total		1.306,00
Cociente		9,28

El Centro de Gravedad se halla a 9,281 mm. a Proa del C.L.E.

Figura 45

Ahora ya podemos establecer que nuestro centro de gravedad se halla 34,03 mm. a popa de la cuaderna 2 y a 9,31 mm de altura sobre la línea de flotación.

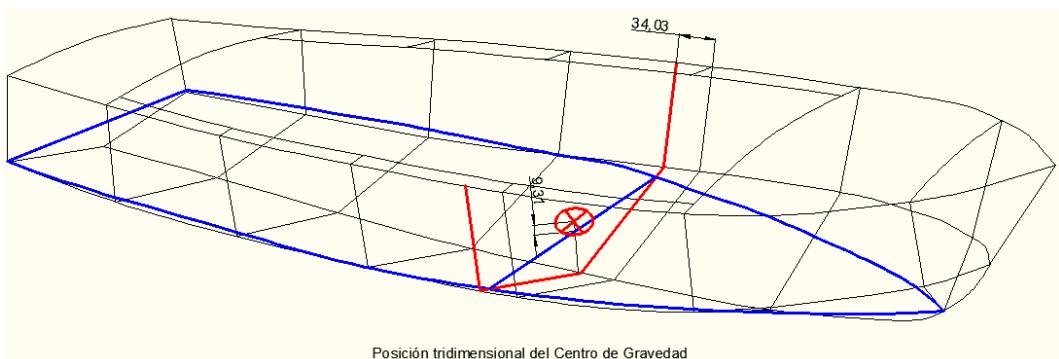


Figura 46

En el capítulo "XI" hablaremos de la estabilidad y como aplicar los resultados de estos cálculos.

DISEÑANDO NUESTRO MODELO

Capítulo X

Los Coeficientes

Podemos catalogar los cascos de varias maneras, así, tenemos cascos finos, ágiles, esbeltos, panzudos, mangudos, etc. ¿Pero, cómo es el tipo de casco que hemos diseñado? Para saberlo echamos mano de los coeficientes.

El primero es el coeficiente de bloque que nos indica la agilidad del casco y viene determinado por la proporción entre el volumen de la obra viva y un paralelepípedo imaginario que la circunda.

La longitud del paralelepípedo vendrá determinada por la eslora en flotación. Su ancho será igual a la manga, también en flotación. Y finalmente la altura será igual a la distancia entre el canto más bajo de la quilla y la línea de flotación prevista.

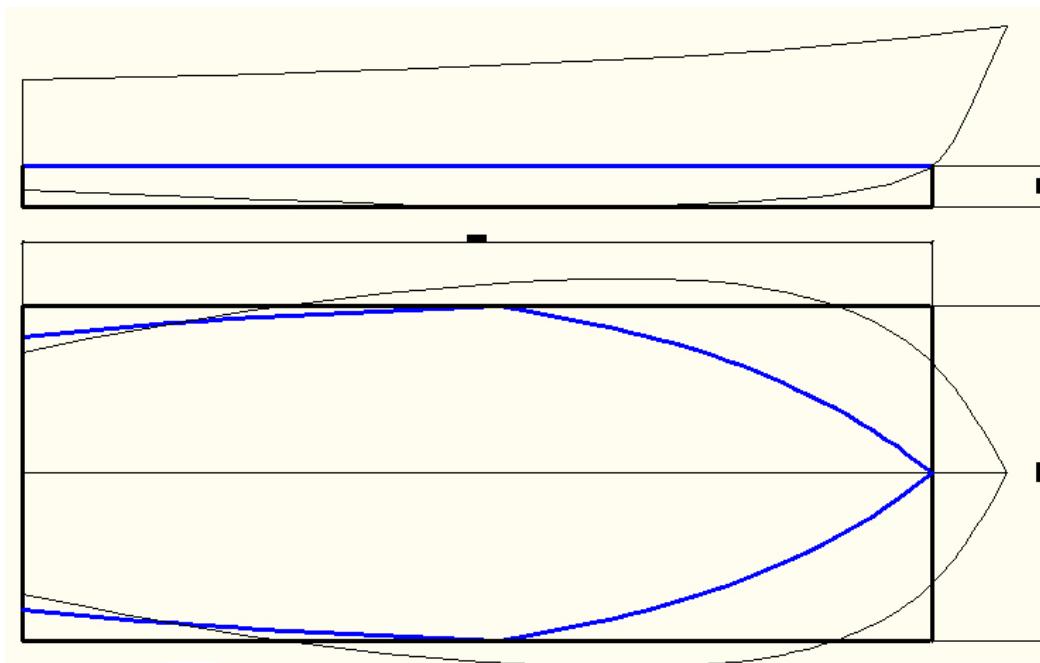


Figura 47

Tomemos como ejemplo nuestro “Avante”. Su eslora en flotación es de 600, su manga en flotación es de 220,80 y su calado (línea de flotación-punto más bajo de la quilla) de 26,85, todo expresado en milímetros. Y el último dato que necesitamos es el desplazamiento que es de 1,44481594 kilos.

El volumen de la obra viva lo obtendremos dividiendo el desplazamiento por 1,026 (peso específico del agua salada) es decir: $V.O_{viva} = \frac{1,44481594}{1,026} = 1,40820267$

Hallemos ahora el volumen del paralelepípedo circunscrito a la obra viva, según los datos vistos anteriormente $V_p = \frac{600 \times 220,80 \times 26,85}{1.000.000} = 3,557088$.

Y para finalizar $C_b = \frac{V_p}{V.O_{viva}} = \frac{1,40820267}{3,557088} = 0,3960$, por tanto el coeficiente de bloque de nuestro modelo será de 0,40. Valor que podemos considerar como muy bueno, ya que

para este tipo de embarcaciones los valores del coeficiente de bloque deben estar comprendidos entre 0,35 y 0,48.

Hay tipos de barcos cuyo coeficiente se mueve alrededor de 0,8 e incluso 0,9. Piénsese por ejemplo en cargueros, petroleros, buques aljibe, transbordadores de río o barcazas de trabajos portuarios o las que transportan minerales u otros productos a lo largo del Rhin, algunos de ellos ostentan líneas que son, prácticamente, un paralelepípedo con los extremos redondeados para conferirles un mínimo de navegabilidad.

Otro coeficiente muy importante es el prismático que nos indica la proporción entre el volumen de la obra viva y un paralelepípedo que tenga igual longitud que la eslora en flotación y de sección transversal de superficie igual a la sección maestra del casco que, en general, corresponderá a la cuaderna maestra.

Para efectuar el cálculo, tomamos el volumen de la obra viva, como se hace para el coeficiente de bloque y se divide este valor por el producto de la superficie de la sección mayor (que tomaremos de los elementos para el cálculo del desplazamiento) y la eslora en flotación

Para construir nuestro paralelepípedo hacemos que su longitud sea igual a la eslora en flotación que ya sabemos que es de 600 milímetros. El ancho y alto estará constituido por un rectángulo cuya superficie será igual a la superficie de la cuaderna maestra. Recurrimos a la (Figura 32) y obtenemos la semi área que es de 1.633,51 y operamos $V_p = 1.633,51 \times 2 \times 600 = \frac{1.960.212}{1.000.000} = 1,960212$

Ahora sólo nos resta tomar el volumen de la obra viva y dividir su valor por el volumen obtenido para el paralelepípedo. Así pues operamos $C_p = \frac{1,4808467}{1,960212} = 0,7554523$.

En barcos con líneas del tipo del **Avante**, el valor del coeficiente prismático oscila, normalmente, entre 0,70 y 0,80 e indica si la línea de la proa y de la popa son tendidas o rollizas; en otras palabras, sirve para confrontar los extremos del casco con la sección maestra.

En barcos con una manga en popa muy pequeña con relación a la manga máxima (tipo ballenera), el valor del coeficiente prismático debe estar entre 0,54 y 0,62. La misma consideración que hacíamos sobre petroleros, barcazas y demás, también es aplicable aquí. De la comparación con otros proyectos se adquirirá la experiencia necesaria para poder determinar la esbeltez de un diseño.

DISEÑANDO NUESTRO MODELO

Capítulo XI

La Estabilidad

Recuerdo un día en que siendo todavía un mocoso estando en el Real Club Marítimo, del que era socio, me uní a un grupo de “viejos lobos de mar”, gente curtida, con ropa de agua, fumando en pipa, gorra muy usada y sucia, con algún que otro descosido y muchos galones dorados que estaban en animada tertulia en el bar de los marineros.

Había dos bares, el reservado a los socios en la planta noble del edificio y el llamado de los marineros de acceso libre. Allí se reunían los verdaderos “lobos de mar”, gente entendida a la que yo admiraba con profunda devoción guardando siempre una respetuosa distancia y haciéndome la firme promesa que cuando fuese mayor sería uno de ellos.

Estaban hablando de la estabilidad y uno de ellos, con voz grave y en tono de manifiesta autoridad, dijo: “*La estabilidad es como una escoba*”, siguió una prolongada pausa, todos movieron la cabeza en señal de asentimiento pensando en la profundidad de tal aseveración mientras sus miradas expectantes permanecían fijas en el orador.

“*Seguramente*,” prosiguió, “*aunque sólo haya sido una vez, todos hemos sostenido una escoba en equilibrio sobre la yema de un dedo, cuando la escoba tiene tendencia a caer sobre un lado hay que desplazar inmediatamente el dedo hacia ese mismo lado hasta encontrar de nuevo el equilibrio*”

Aquello me impresionó hasta el punto que hice mío el tal argumento y un día después de clase ante D. Ángel, en aquel entonces Director de la Escuela Oficial de Náutica y Máquinas de Barcelona, hoy Facultad de Ciencias de la Mar, tuve la oportunidad, en una pausa, de colocar el tal argumento.

D. Ángel y también D. Santiago Hernández Izal que participaba en la pequeña reunión improvisada, me miraron como si hubiese cometido un sacrilegio y D. Ángel, con el tono tan característico que le imprimía a su voz cuando algo le contrariaba me dijo: “*Joven, de donde ha sacado usted semejante idea*”

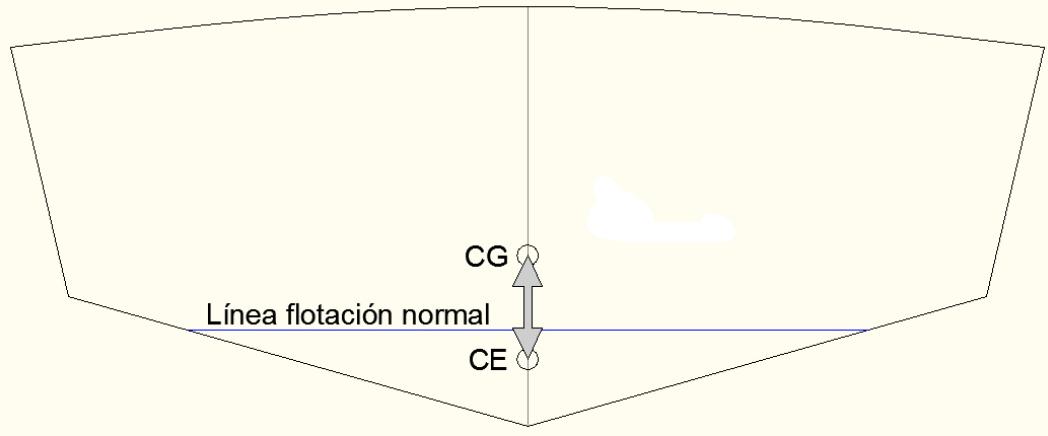


Figura 48

La (Figura 48), representa el casco de un barco en posición normal, con el centro de gravedad (CG) y el centro de empuje (CE) en la posición indicada. El CG ejerce una

fuerza hacia abajo igual a su desplazamiento, es decir al peso del barco. El (CG) ejerce una fuerza hacia arriba igual al peso del líquido desalojado, es decir su desplazamiento o peso. Ambas fuerzas, CG y CE, siempre se manifiestan en sentido vertical y como las dos son idénticas y de signo contrario, se anulan mutuamente con lo cual el barco permanece a flote en su posición normal.

Si la acción del viento o las olas inclinan el casco hacia un lado, el (CG) no se mueve, quedándose siempre en el mismo punto, pero no sucede lo mismo con el (CE), que se desplaza hacia fuera hasta encontrar el centro de la nueva parte sumergida, determinada por la inclinación. Es lógico que la nueva posición del centro de empuje (C'E') deba ser tal que anule con su acción hacia arriba, el empuje hacia abajo aplicado al (CG). En este caso decimos que la embarcación tiene estabilidad positiva.

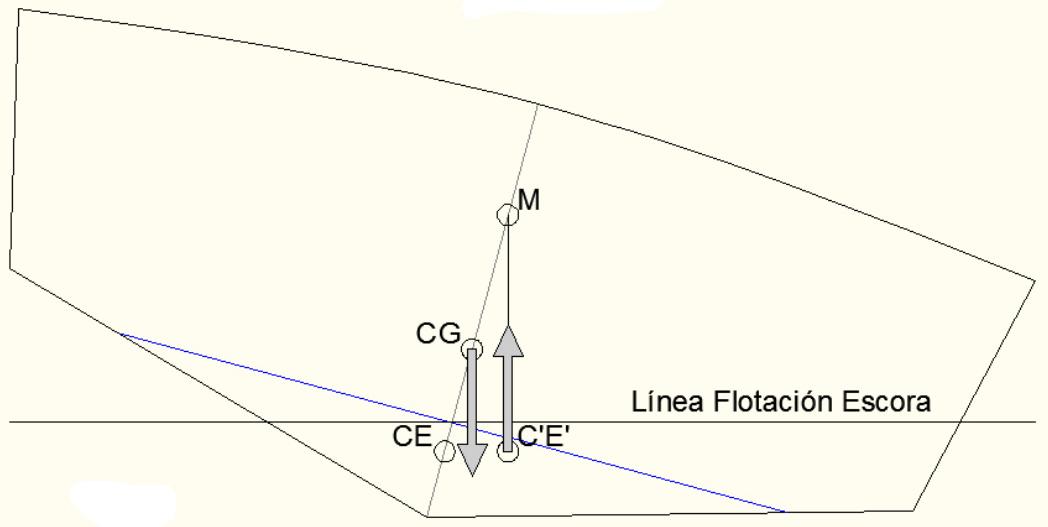


Figura 49

Desde la nueva posición del centro de empuje, (C'E'), trazamos una línea vertical hasta que corte el eje de simetría. Si el corte se efectúa por encima del centro de gravedad, la embarcación es estable y se adrizará por sí sola. El punto donde la vertical del centro de empuje (C'E') corta al eje de simetría (M) se llama metacentro y la distancia que separa los puntos (C'E') y (M) se llama altura metacéntrica. La embarcación será más estable cuanto mayor sea la distancia entre ambos puntos.

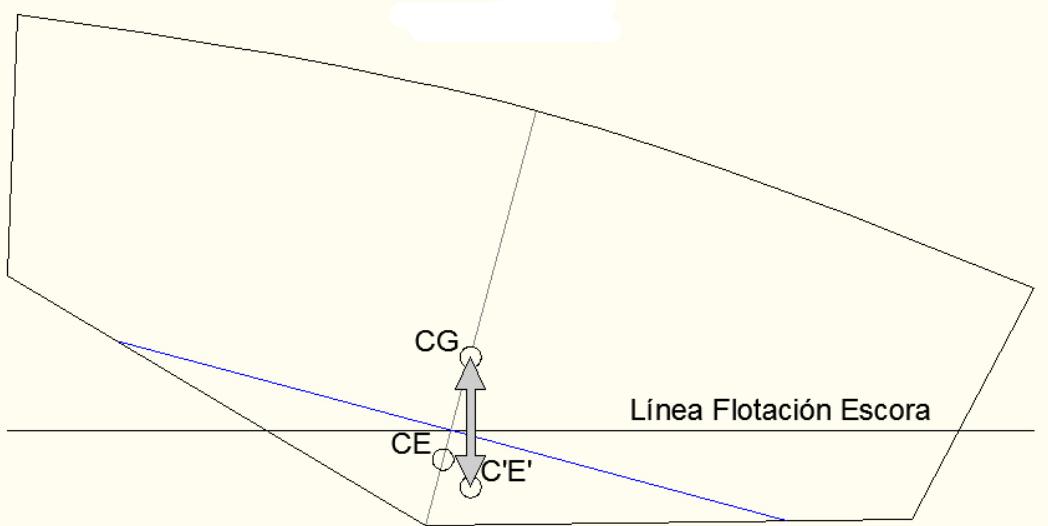


Figura 50

En la (Figura 50) el punto de intersección pasa por el centro de gravedad (CG) lo que significa que la estabilidad es neutra. El casco permanecerá en esta posición sin volcar ni adrizarse. No obstante cualquier movimiento de peso por pequeño que sea o la fuerza del viento o la mar inclinará la embarcación en ese mismo sentido.

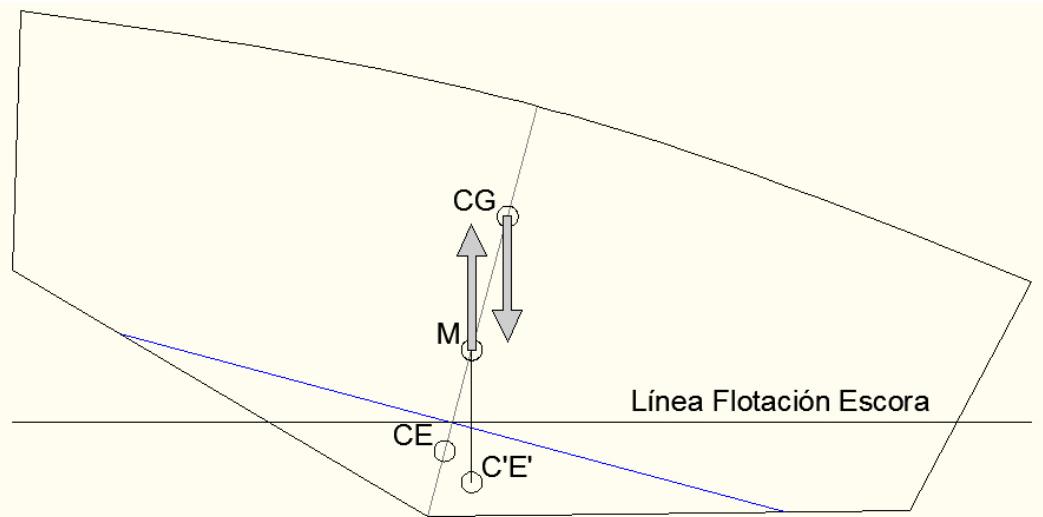


Figura 51

La (Figura 51) nos muestra un casco inestable o de estabilidad negativa, la vertical que pasa por el (C'E') corta al eje de simetría por debajo del (CG) que al encontrarse más al exterior que el centro de empuje provocará el vuelco de la embarcación.

Esta situación se da en algunos tipos de yolas, kayacs y esquifes donde la verdadera estabilidad se consigue con el peso y el desplazamiento del cuerpo del remero.

Para conocer la estabilidad de un casco inclinado existe, naturalmente, un procedimiento matemático pero es un poco (bastante) complicado, hay, también, un sistema práctico y simple que dará el mismo resultado aunque es un poco laborioso.

Se basa en una simple consideración y es que -prescindiendo del ángulo de inclinación y del grado de estabilidad-, el peso de la embarcación y por lo tanto su desplazamiento, permanece absolutamente constante. Lo primero que hay que hacer es situar en el plano vertical del proyecto, la posición del C.G. encontrada con el sistema ya explicado, después se necesita dibujar en una hoja de cartulina, copiándolas del plano vertical, todas las cuadernas dibujadas, pero completas -ambas mitades- de forma que cada una de ellas se presente como la de la (Figura 48).

Después recortaremos las cuadernas de la cartulina y las pondremos, debidamente ordenadas, haciendo coincidir exactamente la línea central y la de flotación. Debemos trazar el perfil de la cuaderna, la línea central y la línea de flotación con la mayor precisión posible

Necesitamos tres grupos exactamente iguales. Cortaremos el primer grupo por la línea de flotación normal y nos quedaremos con la parte que representa la obra viva, es decir, aquella que queda bajo el agua y en una báscula de precisión pesaremos el conjunto.

Tomaremos el segundo grupo y dibujaremos la línea de flotación que tendría el casco con una inclinación de 10 grados y cortaremos el conjunto por esta línea, conservando la coincidencia de la línea central.

Finalmente con el tercer grupo procederemos igual, salvo por la línea de flotación que la dibujaremos con una inclinación de 20 grados. Podríamos elaborar más grupos e ir cortando a 30, 40, 50 grados, etc., pero con estos dos grupos será suficiente.

Una vez hayamos cortado los tres grupos, flotación normal, flotación 10º y flotación 20º, el peso de cada grupo ha de ser exactamente el mismo, ya que representan el desplazamiento. Es conveniente cortar los grupos segundo y tercero con algo de margen, para ir haciendo pequeños recortes hasta igualar los pesos.

El paso siguiente consiste en encontrar el centro de empuje correspondiente a los grupos cortados a 10 y 20 grados poniéndolos en equilibrio sobre la punta de un alfiler que aseguraremos en una base lo suficientemente estable para que todo el montaje permanezca firme. Tras varias tentativas, siempre, se consigue el equilibrio.

Cuando se encuentra el equilibrio, el punto en el que se apoya la punta del alfiler, es el C.E.; se toma después el grupo, se le coloca sobre el plano vertical, de forma que coincidan el eje de simetría y la línea de flotación con casco normal, se traza la línea de flotación inclinada correspondiente y agujereando la cartulina con una punta afilada, se marca en el plano vertical el punto encontrado, que será el C.E. correspondiente a aquella determinada inclinación; el C.G. lo hemos fijado al principio de la operación, nos queda solamente trazar la línea de flotación inclinada, pasando por el centro de empuje correspondiente, para encontrar el metacentro y, en consecuencia, controlar la estabilidad de aquella inclinación.

La operación ha de repetirse con todos los grupos y el límite de 20º es suficiente para nuestros cascos, eso sí es necesaria una gran precisión en la composición de los grupos (con las cuadernas colocadas exactamente una sobre la otra y en orden) y en la determinación de los pesos; no olvidar efectuar los cortes inclinados, ni dejar un cierto margen que permita después efectuar con exactitud el equilibrio de peso con el grupo de la sección recta.

El momento de enderezamiento, esto es el conjunto de fuerzas que permiten a la embarcación enderezarse, tiene un valor numérico que puede ser encontrado multiplicando el desplazamiento por la distancia "A" entre el C.G. y el C.E.; indicando el desplazamiento en kg. y "A" en metros el valor del momento de enderezamiento será naturalmente en kilográmetros.

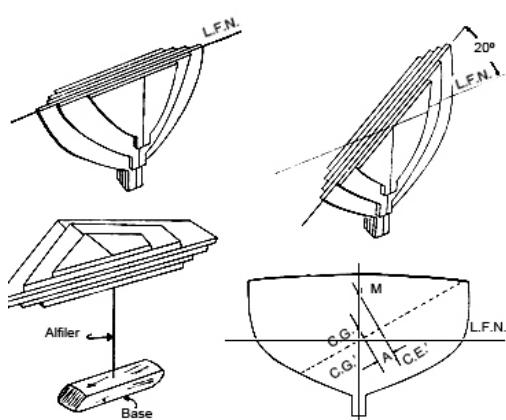


Figura 52

El cálculo de la estabilidad, que normalmente puede ser considerado un simple control, se hace imprescindible, si se suscita alguna duda en su resolución. Este cálculo se refiere naturalmente a la embarcación parada, pero cuando navega el efecto del movimiento influye positivamente en la estabilidad.

Antes del punto final, recomendar que empecemos con modelos muy sencillos y a medida que vayamos logrando dominio y por tanto soltura con el sistema explicado ir avanzando, poco a poco, hacia modelos más atrevidos y sofisticados. Con un poco de práctica podemos lograr diseños propios con buena estampa y buen andar.