

CAPITULO 2

El buque

Teoría del Buque

La construcción naval se ha desarrollado desde sus orígenes como un arte cuyos secretos fueron celosamente custodiados por los hombres de mar, que pasaron esos conocimientos de generación en generación.

Hacia el siglo XVIII, el desarrollo de la ciencia comienza a imponerse en todos los campos; la Arquitectura Naval no permaneció ajena a este cambio, y el arte comenzó a transformarse en una disciplina científica cuyo crecimiento no ha cesado hasta nuestros días, aportando al desarrollo y crecimiento de las flotas de mar tanto en porte como en cantidad.

La Arquitectura Naval tiene por objeto el diseño integral de los buques, estructuras complejas con capacidad para navegar en forma independiente o asistida, transportar personas y mercaderías y brindar servicios diversos en el ámbito marino, fluvial o lacustre, estando constituida por dos áreas diferentes pero complementarias a la vez, la Teoría del Buque y la Construcción Naval.

La Teoría del Buque trata de los aspectos hidrostáticos y de estabilidad del buque como flotador, la relación entre las formas de su casco y las fuerzas a la que éste será sometido durante la navegación y maniobras.

La Construcción Naval comprende el estudio de la estructura del buque, los esfuerzos a los que estará sometida y a partir de los cuales podrá ser dimensionada, incluyendo también los procedimientos para su efectiva fabricación y montaje.

Definición y características

Se puede definir el buque como un flotador dotado de una cierta estructura, propulsado o sin propulsión, que tiene la capacidad para realizar una misión establecida. Etimológicamente su definición refiere a embarcaciones o barcos de cierto porte, pero será utilizado en el presente texto en forma genérica.

Una primera característica, la *flotabilidad*, seguramente una de las más relevantes, está inserta en la propia definición, corresponde a la capacidad de flotar y mantener una porción de su estructura fuera del agua, transformándose en una plataforma con capacidad para sostener y transportar personas y bienes sin que estas se vean afectadas por la acción del medio líquido.

La flotación de un cuerpo implica una cierta relación entre su peso y su volumen, por lo cual se entiende que un primer elemento de diseño surge de las formas y dimensiones del flotador, debiéndose verificar que el peso del líquido correspondiente al volumen total del cuerpo sea superior al peso de este último.

En tanto este flotador sea considerado un buque, deberá estar afectado a alguna misión, entendiendo por ésta la función o propósito para la cual fue creado, y para ello deberá cumplir con otras condiciones que lo diferenciarán de los flotadores considerados genéricamente.

Éstas pueden ser clasificadas en dos grupos, el primero de los cuales corresponde a condiciones de *explotación*, entre las cuales se debe incluir la utilidad, solidez, habitabilidad y cuidado ambiental, mientras que el segundo incumbe a sus condiciones relacionadas con las habilidades de *navegación*, que incluyen por su parte la estanqueidad, estabilidad, velocidad, navegabilidad y maniobrabilidad.

Condiciones de explotación

La explotación o aprovechamiento del buque para la realización de las más diversas actividades comerciales o de cualquier otra naturaleza implican que su diseño debe ser tal que sea apropiado para la tarea dispuesta con un cierto rendimiento establecido previamente, lo que podría ser definido como *utilidad*.

En la actividad comercial, significa que los operadores del buque puedan obtener una ganancia a través de su explotación, mientras que en área naval o de guerra la utilidad debe medirse con parámetros asociados a sus capacidades ofensivas, defensivas o de soporte táctico.

En cualquier caso, esta valoración significa la cuantificación positiva del término producción considerado genéricamente, en relación con el costo de la operación o de su aporte medido con otros parámetros.

La *solidez o resistencia estructural* es otra cualidad que debe ser incluida en este primer grupo, entendiendo que ésta corresponde a los atributos que hacen que el buque pueda resistir los esfuerzos internos derivados de las sollicitaciones que imponen el peso de esas propias estructuras, las cargas, pasaje y otros elementos abordado, y los externos, correspondientes a las fuerzas e impactos que los elementos de la naturaleza como el viento, las olas y las corrientes impondrán al casco y demás elementos resistentes.

También debe ser incluida la *habitabilidad* como condición de explotación, en la medida que afecta en forma directa la productividad de la tripulación, el confort de los pasajeros y la condición de la carga y víveres.

Esta condición tiene su máxima expresión en los buques de pasaje, mientras que en el extremo opuesto se pueden identificar los buques de pesca artesanales y costeros. Los buques de guerra en tanto, por su propia naturaleza, resignan diversos aspectos de la habitabilidad en función de las operaciones que requieren su misión, disminuyendo el espacio vital en función del importante número de efectivos que son embarcados, el aumento de la rigidez de la condición de adrizamiento que trae consigo el aumento en la frecuencia de rolido natural, fuente de los malestares por mareo, etc.

Adicionalmente es necesario considerar el buque como unidad en la producción de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, contemplando como afectan éstos a las zonas costeras, puertos y el ecosistema en general, a la luz los nuevos paradigmas en el *cuidado ambiental* y las regulaciones correspondientes.

Condiciones de navegación

El segundo grupo corresponde a los *requerimientos náuticos* e incluye todas aquellas características exigidas para una buena navegación.

Mantener la integridad del buque implica mantener la condición de flotabilidad, que está asociada al equilibrio existente entre el peso del flotador y el empuje de su parte sumergida o *carena*; como ya fue mencionado, el peso del agua que ocupa el volumen del flotador completo debe ser superior al peso propio; de esta manera una parte de este emergerá y se mantendrá fuera del cuerpo líquido, porción que denominaremos *reserva de flotabilidad*.

En caso de que se comenzara a incorporar pesos que se sumen al peso inicial, el volumen sumergido debe aumentar en forma proporcional de manera de mantener el equilibrio dinámico, disminuyendo la reserva de flotabilidad. Llegará un momento en el cual esta magnitud se anulará completamente, instante en el cual se produce el hundimiento del flotador. Esta situación puede encontrarse cuando ingresa agua sin control en alguno o varios compartimientos del buque, a través de escotillas u otras aberturas en las cubiertas expuestas o superestructuras.

Sin considerar circunstancias excepcionales que pueden ser catalogadas como accidentes, es necesario asegurar que no puedan ser inundados los compartimientos interiores del buque, por lo cual se debe apelar a la capacidad de *estanqueidad* del conjunto casco / cubierta / superestructuras, sobre todo en condiciones de mal tiempo.

Asegurada esa condición de cerramiento estanco, que incluye la unión de cubierta y casco, el sellado efectivo de huelgos entre bujes y ejes, los mecanismos de cierre herméticos que se disponen para las puertas de escotillas, puertas de acceso a superestructuras o tapas de bodega, es necesario generar una *reserva de flotabilidad* residual para el caso que la inundación provenga de aberturas generadas por la colisión del buque o la fatiga de los materiales que componen el forro del casco o cubierta, soldaduras, etc.

Ésta se asegura a través de procedimientos de diseño que definen dimensiones conocidas como *esloras inundables*, las cuales limitan la extensión de los espacios internos del buque, generando una suerte de subdivisión estanca en compartimientos que, ante la inundación de uno o varios de éstos, permitirán al buque mantener una flotabilidad residual.

La *estabilidad*, junto con la flotabilidad y la estanqueidad, podrían ser indicadas como las propiedades más relevantes del buque en tanto considerado como flotador. La integridad del buque, resuelto el tema de la flotabilidad y no mediando

condiciones de deterioro alguna, debe ser sostenida a través de su capacidad de retención de la condición de adrizamiento, para lo cual la forma del casco y la distribución de pesos abordo deberán conjugarse de manera de asegurar la recuperación de la condición de equilibrio para un amplio rango angular en el movimiento de balanceo, con movimientos armónicos que no afecten el confort o tensionen en forma extraordinaria la estructura resistente.

Más directamente identificada con la misión del buque, la *velocidad* que puede desarrollar y mantener durante la navegación es uno de los aspectos más relevantes al estar vinculada con el tiempo en el que la derrota definida será completada, cumpliendo con los plazos de entrega en algunos casos, asistiendo en emergencias en otros, haciendo efectivo entre el armador y aquel al que presta el servicio el compromiso de tiempo de navegación y entrega acordado.

Relacionada en algunos casos con las actividades que desarrollan, la *maniobrabilidad* representa la capacidad de gobierno, aquella que le permite los cambios de rumbo durante la navegación y también durante operaciones específicas como pueden ser las de remolque y servicio a plataformas.

Por último, se puede indicar la *navegabilidad* como la facultad para realizar un transporte o actividad marítima específica, apelando a su buen estado y aptitud, con seguridad, eficacia y eficiencia. Si bien es un término que define una condición del buque para la realización de una navegación segura para tripulantes, pasajeros y carga en forma independiente de las condiciones meteorológicas y de mar, el término es especialmente acuñado con fines jurídicos, al punto que puede ser definido como el eje central del Derecho Marítimo (Navas Garatea, 2013).

Nomenclatura marinera

La nomenclatura naval, al igual que en otras artes u oficios, incluye un vocabulario específico que le transfiere cierta particularidad, enriquecido en este caso por la profusión de ciencias concurrentes tanto en la construcción o la navegación, como asimismo por la interacción con otras culturas a partir de la naturaleza propia de la actividad, tal como se afirma en el prólogo del Diccionario marítimo español de 1831 (Fernández de Navarrete, 1831):

Si la astronomía ha enriquecido el arte de la navegación o pilotaje; si la mecánica ha perfeccionado la maniobra; si la hidráulica ha adelantado la arquitectura naval; si la óptica ha mejorado los instrumentos de reflexión; ha sido consiguiente que muchas voces, peculiares de estas ciencias, se hayan introducido y connaturalizado en el idioma propio de la gente de mar.

Es así como prácticamente todos los términos en español asociados con el buque son derivaciones de términos asociados a algunas de las profesiones, artes u oficios que forman parte del amplio arte naval, incluyendo términos acuñados en idiomas de otros países de extensa tradición marinera y que se extendieron a través de la permeable frontera impuesta por el comercio marítimo, el permanente contacto

multicultural de las cofradías portuarias y la difusión académica de las ideas de la época.

Se hace necesario establecer la nomenclatura básica relacionada con la descripción del buque a los efectos de asimilar cómodamente los conceptos incluidos en el texto de este volumen, dejando para el lector la profundización en relación con otros términos que quedan fuera de esta breve reseña.

Sectores del buque y zonas destacadas

Una primera división en sectores debe ser indicada por la posición relativa con relación al plano de flotación. La zona por debajo de la misma y tema fundamental de este estudio, se denomina *obra viva*, y está constituida por la carena y demás apéndices, como el timón, hélice, arbotantes, etc. Por encima de la superficie del agua emerge lo que se denomina *obra muerta*, que incluirá la porción expuesta del casco y la superestructura, incluyendo cubiertas superiores, toldilla, castillo de proa, brazolas de bodegas, etc.

La orientación espacial incluye términos específicos. En el sentido longitudinal de navegación, la *proa* (*head, forepart*) representa la parte delantera del buque, indicando también la estructura que va cortando las aguas durante la navegación, mientras que la *popa* (*stern*) representa la parte posterior, donde generalmente está ubicado el timón, teniendo un significado principal asociado a términos de la construcción que refieren a la obra o estructura que la cierra, en general, o al buque en este caso, por su parte posterior.

En el sentido transversal, las *bandas* o costados se identifican como *estribor* (*starboard*) y *abor* (*port*), correspondiendo estas denominaciones a la banda derecha e izquierda respectivamente en relación con el sentido de avance del buque, o en forma equivalente, de popa hacia proa.

El término estribor parece derivar de ciertas prácticas antiguas en las que un único remo a forma de pala auxiliaba a las embarcaciones en las operaciones de atraque, estando éste ubicado normalmente por la banda derecha, asociándose al término holandés *stierboord*, donde *stier* significa timón y *boord*, borde. En inglés antiguo el término utilizado era *steorborde* con idéntico significado, el cual se transformó finalmente en *starboard*.

Debido a la naturaleza de la operación realizada por esta pala o remo, la carga o descarga en muelle debía ser realizada a través de la banda opuesta que denominamos abor; este término se asocia al francés *babord* posiblemente derivado del holandés *bakboord*, como conjunción de *bak*, que es parte de atrás, y *boord* o borda, regala. La denominación en inglés antiguo era *larboard*, pero la confusión que generaba con el término *starboard* hizo que la Marina británica resolviera prohibir su uso sustituyéndolo por el de *port* identificándolo con la banda que antiguamente se apoyaba contra el muelle. Actualmente, la banda sobre la cual se amura el buque a

los efectos de su carga, descarga, ascenso y descenso de tripulación y pasaje es la de estribor.

Sistema referencial

A los efectos de su descripción espacial en este texto, se utilizará un sistema cartesiano ortogonal definido por tres planos perpendiculares entre sí.

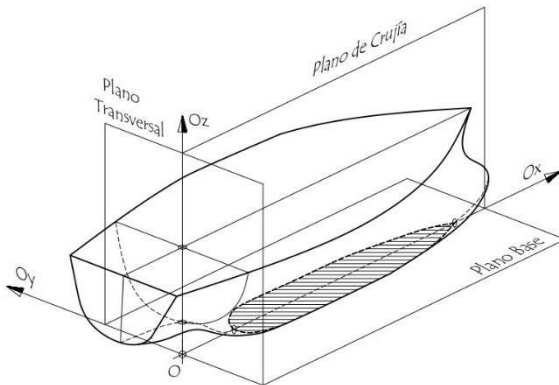


Fig. 1 . Planos referenciales: Plano Base

El primero de ellos es el plano horizontal o *Plano Base*, origen de las coordenadas verticales.

Sobre este plano descansan las líneas de trazado que definen el fondo del casco, teniendo en cuenta que en su gran mayoría los buques son diseñados con quillas horizontales.

Algunas veces las quillas presentan una pequeña pendiente; su intersección con el Plano Base determina

un punto que desde la perspectiva del diseño corresponderá a la sección media, plano transversal ubicado en el centro de la dimensión longitudinal denominada *eslora entre perpendiculares* que será definida más adelante.

Perpendicular a éste y orientado en el sentido longitudinal, se define el *Plano de Crujía*, origen de las coordenadas transversales y plano de simetría. La simetría del casco es un aspecto

sumamente relevante, dado que, si no fuera cumplida dicha condición, durante la navegación se generarían fuerzas hidrodinámicas de componentes transversales que impedirían el avance según un rumbo lineal. Por convención, se definen como positivas las coordenadas que definen los puntos del semiespacio ubicado hacia la banda de babor.

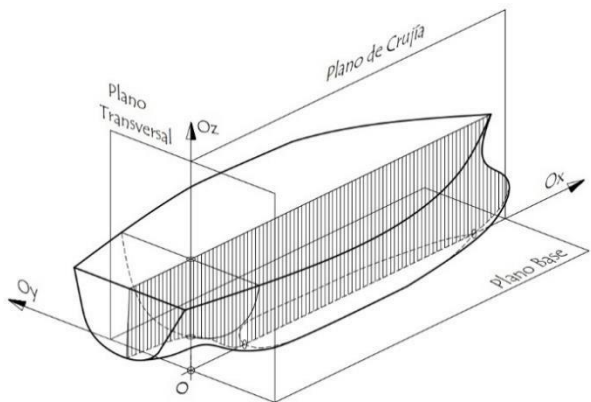


Fig. 2 - Planos referenciales: Plano de Crujía

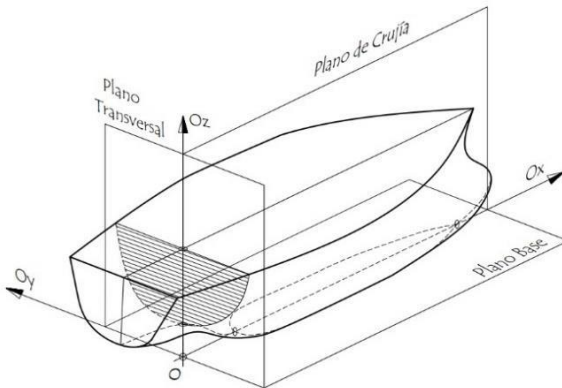


Fig. 3 - Planos referenciales: Plano Transversal

Por último, un plano también vertical, pero orientado en el sentido transversal, perpendicular a los otros dos, define la referencia de las dimensiones longitudinales. En este texto dicho plano se hace coincidir con la posición del eje o mecha del timón definiendo la sección de diseño y cuaderna de construcción número 0. No muy frecuente pero igualmente válido es considerar dicho plano en

coincidencia con la sección media o número 5, ubicada en el centro de la eslora entre perpendiculares.

Las intersecciones de estos planos tomados de a pares definen el sistema de ejes cartesianos; el Plano Base contiene el eje longitudinal en su intersección con el Plano de Crujía, y el eje transversal en la intersección con el plano homónimo; la intersección de este Plano Transversal con el Plano de Crujía define por último el eje vertical.

Dimensiones principales

El proceso de diseño de buques se inicia con la identificación de una necesidad y el planteamiento de una solución, la cual estará definida y limitada por cuestiones dimensionales, dinámicas, estructurales, reglamentarias, etc.

Considerando la primera etapa, las formas estarán vinculadas directamente con ciertas dimensiones que son características y específicas.

La *eslora* identifica una dimensión longitudinal en general, teniendo varias interpretaciones en función de las condiciones de diseño a las cuales se refiere.

En primer lugar, en el origen del proceso, se define la *eslora entre perpendiculares*, *LPP*, la cual indica la distancia entre las líneas imaginarias que se denominan *perpendicular de popa* y *perpendicular de proa*, ambas pertenecientes al Plano de Crujía y verticales al Plano Base. La primera de éstas coincide con la posición del eje o mecha del timón, mientras que la segunda lo hará con el punto de intersección entre el plano de flotación de la condición de máxima carga y la línea que define la roda, elemento estructural que constituye la proa.

La *eslora entre perpendiculares* es principalmente una dimensión de diseño de formas, estableciéndose su partición en 10 porciones iguales separadas por secciones

transversales que denominaremos *estaciones*, numeradas del 0, ubicada en la posición correspondiente a la perpendicular de popa, a la número 10 en la posición de la perpendicular de proa.

La estación número 5 o *sección media* corresponde a la sección central en dicha división. En la distribución de elementos estructurales transversales, también se hace coincidir la sección número 0 con la estación del mismo número, salvo en el caso de los buques de guerra, donde la numeración adopta otro criterio.

Luego se identifica la *eslora en la flotación*, *LFL*, que corresponde a la extensión longitudinal del contorno de una flotación dada, y por lo tanto coincide el extremo anterior con la intersección con la roda, mientras que el extremo posterior se define por la intersección de la dicha superficie con la línea que forma el codaste o el espejo de popa.

La porción del casco que se mantiene por debajo de la superficie genera la fuerza de empuje que sostiene el peso del flotador en su totalidad, por lo cual esta dimensión, la *eslora en la flotación*, tiene capital importancia a los efectos del dimensionamiento estructural, considerándola como la dimensión longitudinal de una viga equivalente, a la que denominaremos viga buque, cuyas características estructurales serán definidas en función de las solicitaciones que someterán el casco durante la navegación.

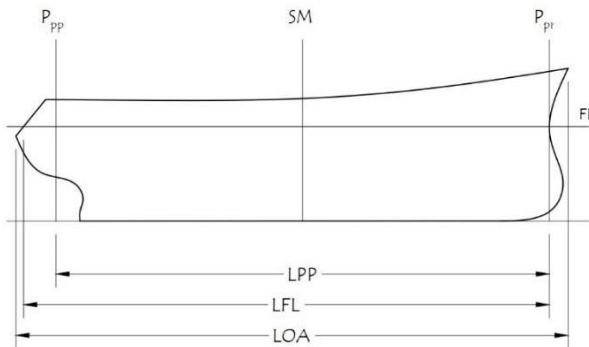


Fig. 4 - Definiciones de esloras

Por último, se define la *eslora total*, *LOA* (*Length Over All*), como aquella distancia entre los extremos anterior y posterior del buque, sin considerar elementos rebatibles. Esta dimensión no tiene relación alguna con los aspectos de diseño que ocupan este capítulo, sino que atiende un aspecto operativo relevante como lo es la

extensión del espacio reservado para su amarre en muelle o su varada en instalaciones adecuadas.

Por su parte la *manga*, *B* (*Breath*), identifica la dimensión transversal considerada de banda a banda. Análogamente como en el caso de la eslora, denominaciones específicas pueden definirse en relación con en general, teniendo varias interpretaciones en función de las condiciones de diseño a las cuales se refiere. Normalmente el término *manga* sin adjetivos se reserva para la dimensión transversal

máxima del buque, formando parte del conjunto de las dimensiones principales que identifican al buque.

Manga en la flotación, corresponde a la manga máxima en el plano de flotación correspondiente a un calado determinado. Es utilizada para definir, junto con la eslora en la flotación y el calado, la figura geométrica o el prisma que contiene el casco o alguna de sus superficies planas representativas, cuyas formas son utilizadas para definir los *coeficientes de forma*.

Completando la última dimensión que conforma el cuerpo tridimensional, se define el *puntal D (Depth)* como la altura de la cubierta principal medida desde el plano de referencia en la *Cuaderna Maestra*, hasta el vértice formado por la intersección de la cubierta y el costado del casco, denominado *trancanil*. Se denomina *Cuaderna Maestra* a aquella sección transversal de mayor manga, donde normalmente se produce el mínimo en la curvatura o *arrufo* de la cubierta, pudiendo coincidir con la *Sección Media* en aquellos buques con un amplio cuerpo paralelo.

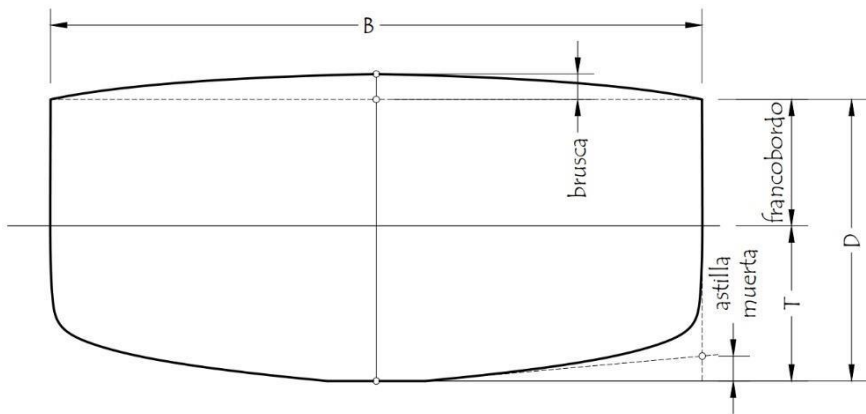


Fig. 5 - Definición de manga, puntal y calado

Otras dimensiones destacadas que pueden observarse en la Fig. 5 son el *francobordo* f_b (*freeboard*), distancia vertical entre la flotación y la cubierta en la línea del trancanil, la *brusca*, que es la distancia vertical entre las alturas de la cubierta en el plano de crujía y la línea del trancanil, y la *astilla muerta* que representa la distancia vertical entre el Plano Base y el punto de intersección de la proyección de la pendiente que forma el fondo del casco con ese plano y la vertical trazada desde el trancanil.

Calado

El *calado T (draft, draught)*, en términos generales, es la distancia vertical medida entre la superficie de flotación y un punto de referencia correspondiente a la quilla.

Calados de trazado

En particular el *calado de trazado* es la distancia vertical desde el Plano Base hasta la línea de flotación.

Salvo en la condición en que la flotación es paralela al Plano Base, el calado no es una medida única, sino que es la composición de medidas correspondientes a dos secciones especiales, la estación # 0 o *perpendicular de popa* y la estación # 10 o *perpendicular de proa*, de acuerdo con lo definido previamente.

En el proceso de diseño y cálculo, se suele identificar el calado de trazado con el calado en la sección media, una medida promedio de las indicaciones realizadas en las dos secciones extremas o perpendiculares.

Sin embargo, la indicación del calado en la sección media por sí sola no es suficiente a los efectos de establecer el verdadero estado de carga o su posición relativa en el agua, pues sugiere que la flotación es paralela al plano de referencia.

La realidad es que la aleatoria distribución de los pesos en las distintas configuraciones de carga determina que la flotación tenga una cierta pendiente o *trimado* con relación a la flotación horizontal. Ésta pendiente genera una diferencia de calados en ambas perpendiculares que denominamos *asiento*.

Por tanto, para una correcta especificación de las condiciones de flotación es necesario indicar las medidas de calado en sus extremos, o el calado medio junto con el asiento.

Por otra parte, si lo que se quiere es especificar el estado de carga cuando existe un asiento no nulo, no es suficiente la indicación del calado en la sección media, debido a que en el sentido longitudinal la flotación gira entorno al centro de flotación *F* y no en la sección media. Un procedimiento detallado permitirá en esos casos definir cuál será el desplazamiento correspondiente.

Calados de navegación

Los *calados de navegación* son una medida de la distancia vertical entre el punto más bajo de la quilla incluyendo el espesor de la chapa y la flotación en una sección dada; durante la navegación la prioridad es conocer la distancia entre la flotación y aquellos elementos o atributos que pudieran colisionar con un obstáculo o tener interferencia con el fondo marino.

Para su visualización se utilizan marcas que indican dichas medidas, realizadas en secciones cuyas ubicaciones sean cercanas a secciones transversales típicas, las correspondientes a las perpendiculares de proa y popa y la sección media. Estas



Fig. 6 - Marcas de Calado en la Proa

marcas de calado permiten determinar condiciones de navegación en aguas restringidas.

Las posiciones de estas marcaciones deben ser indicadas en forma clara en el *Libro de Estabilidad* o *Libro de Carga*. Se deberán indicar asimismo los algoritmos necesarios para el cálculo de la posición de los extremos inferiores en dichas secciones y/o establecer en forma gráfica el posicionamiento relativo de la quilla en relación con la línea de base o línea de diseño.

Las marcaciones mencionadas constituyen lo que se denomina *escala de calados*, y consisten en una serie de números que indican la distancia desde la línea de flotación hasta el borde inferior de la quilla, o su proyección lineal cuando éste no se extiende hasta intersectar las secciones de referencia.

Los números que indican los calados son pares y naturales cuando la numeración es métrica, teniendo una dimensión vertical de un decímetro y estando separados verticalmente entre sí un decímetro; indican directamente el calado medido cuando la flotación coincide con su borde inferior, mientras que cuando coincide con el borde superior, indican el decímetro siguiente, el cual será impar, pero es obviado en la escala.

Cuando la numeración es en el sistema anglosajón, los calados están representados por números romanos y tienen una dimensión vertical equivalente a medio pie o seis pulgadas; todos son incluidos, pares e impares, pero la separación entre ambos es de un pie o doce pulgadas. La coincidencia de la flotación con la base inferior del número indica un calado coincidente con el mismo, mientras que cuando coincide con su borde superior, la lectura indicará la fracción media entre el número sumergido y el siguiente.

Los buques que excedan de un desplazamiento normalizado deberán llevar marcas de calado en la roda y en el codaste en ambas bandas, las cuales podrán ser numeradas en decímetros mediante numeración arábica (cifras pares) y adicionalmente en pies mediante números romanos.

Condiciones de carga

Una condición de carga representa el conjunto completo de pesos distribuidos a bordo, que incluyen necesariamente el peso del propio buque, los líquidos presentes en los tanques en el momento de la evaluación, la tripulación y sus objetos personales, los víveres y repuestos, y obviamente la carga transportada, el cual es identificado por su peso integrado en una magnitud que denominamos *desplazamiento*, representada por la letra griega Δ .

Existen diversos estados por los cuales pasa sucesivamente el buque desde que abandona el astillero hasta que adopta su condición de máxima carga.

Se denomina *desplazamiento en rosca* o *desplazamiento del buque vacío* al peso del buque en el momento que es entregado por el astillero. En esta condición todos los tanques están vacíos, sin tripulantes, pertrechos o víveres abordo.

El *desplazamiento en lastre* se obtiene cuando a la condición de rosca se agregan todo lo necesario para poder navegar, con la inclusión de los líquidos completando todos los tanques, incluyendo el combustible, lubricantes, agua potable, agua de lastre y reservas para calderas, a lo que se debe sumar además el peso correspondiente a la tripulación, víveres y otros consumibles, pero sin considerar carga alguna.

El *desplazamiento en carga* o *de máxima carga* corresponde cuando al desplazamiento en lastre agregamos la carga que se incluye en las bodegas o tanques de carga, completando el calado de diseño o de máxima carga, que está limitado claramente en el costado del buque a través del denominado *Disco de Plimsoll*.

La suma de los pesos que transporta un buque, que incluye el cargamento, el combustible propio del buque, el agua dulce para consumo humano, el agua de lastre y otros consumibles líquidos, las provisiones, la tripulación, los pasajeros y sus equipajes, representan una indicación de la carga total que puede transportar denominada *Porte Bruto* o *Peso Muerto*, *DWT (Dead Weight Tonnage)*. Es la diferencia entre el desplazamiento del buque en carga y el desplazamiento en rosca.

Por su parte la fracción del porte bruto que paga flete la denominaremos *Porte Neto*, pudiéndose entender que se incluyen allí la carga y el pasaje.

La relación entre el porte neto y el desplazamiento de máxima carga se denomina a su vez, *Exponente de Carga*.

Representación de formas

Una vez que se han definido las dimensiones principales, las que se ajustan a una solución de compromiso con el resto de las variables de diseño, es necesario su representación gráfica a los efectos de verificar que el producto final cumple con todas las características solicitadas, determinando sus propiedades hidrostáticas, capacidades, desempeño hidrodinámico, y también para disponer de herramientas que surgen de ese proceso de diseño a los efectos de su construcción efectiva.

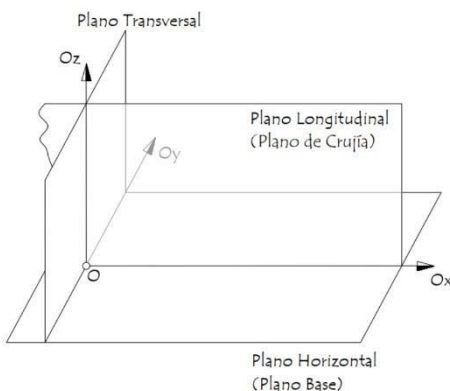


Fig. 7 - Sistema referencial de medidas

La representación se realiza a través de un sistema cartesiano ortogonal, definido por tres planos perpendiculares entre sí, cuyas intersecciones definen los

ejes principales, cuyo sentido se define en forma convencional estableciendo que las magnitudes longitudinales serán positivas a partir del origen en el sentido de avance del buque, las transversales, aquellas que se encuentran hacia babor, y las verticales, las que están por encima del origen y en general por encima del Plano Base.

Las formas del prototipo se terminan materializando a partir de la proyección ortogonal sobre estos planos de las curvas que surgen de la intersección de su geometría tridimensional con planos seccionales paralelos a los de referencia.

Tendremos así tres conjuntos de curvas representativas que son las *Estaciones*, proyección sobre el Plano Transversal de cortes con planos transversales, las *Líneas de Agua*, proyección sobre el Plano Base de cortes horizontales, y *Secciones Longitudinales*, proyección sobre el Plano de Crujía de cortes con planos longitudinales verticales. En las Fig. 8, Fig. 9 y Fig. 10 se muestran los cortes mencionados.

Convencionalmente el espaciado entre las *estaciones* o cortes transversales se determina a partir de la división del espacio entre las perpendiculares, la eslora entre perpendiculares, en diez tramos iguales. La separación será entonces $s = LPP / 10$, donde s representa la *clara entre estaciones*. En la bibliografía española es usual la utilización de veinte espacios en lugar de diez.

Adicionalmente se agregan secciones por fuera de esta definición. Es el caso de las secciones intermedias que, en buques con formas muy pronunciadas en los extremos, generalmente se añaden a los efectos de tener una mejor aproximación a la forma real en el momento de los cálculos.

También es el caso de secciones que quedan por fuera de los extremos definidos por las perpendiculares, como es el caso de las secciones que definen el bulbo de proa en caso de su inclusión como parte del diseño, o del propio espejo de popa, aunque en este último caso se debe tener en cuenta que no es una sección de corte sino una proyección plana de una curva con dimensiones espaciales.

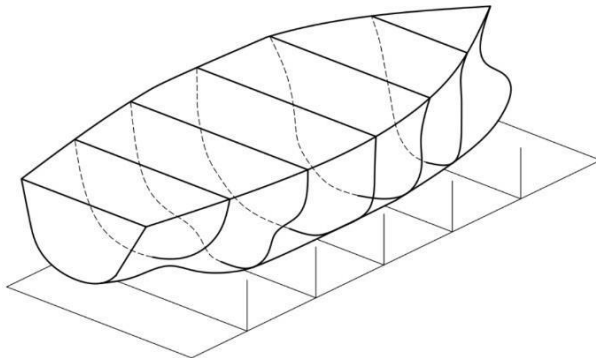


Fig. 8 - Perspectiva de cortes transversales (Estaciones)

Por su parte el espaciado entre los cortes horizontales o *planos de agua* se considera igual a la décima parte del calado de diseño o calado de máxima carga. La separación entre líneas de agua será entonces $h = T / 10$, donde h es la *clara entre líneas de agua*.

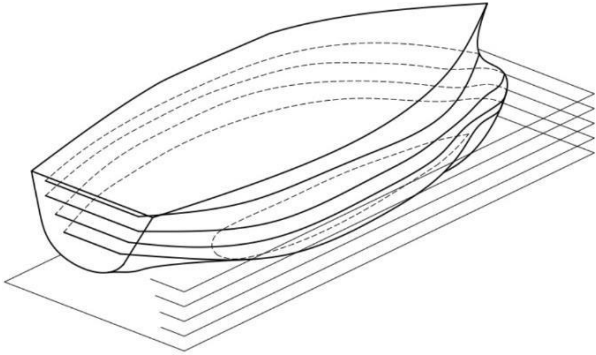


Fig. 9 - Perspectiva de cortes horizontales (Planos de Agua)

En general no es necesario agregar secciones intermedias, aunque al igual que en el caso de la representación transversal, es usual agregar la proyección plana de curvas espaciales asociadas con esta perspectiva, como las que definen la intersección entre el casco y la cubierta superior (*trancanil*), otras cubiertas superiores como la toldilla o el castillo de proa, y las eventuales aristas en el caso de cascos de formas hidrocónicas.

Los cortes paralelos al Plano de Crujía tienen un carácter asociado con el control de las formas de la superficie, no existiendo una convención con relación al espaciado entre ellos ni la cantidad a utilizarse, quedando a criterio del diseñador.

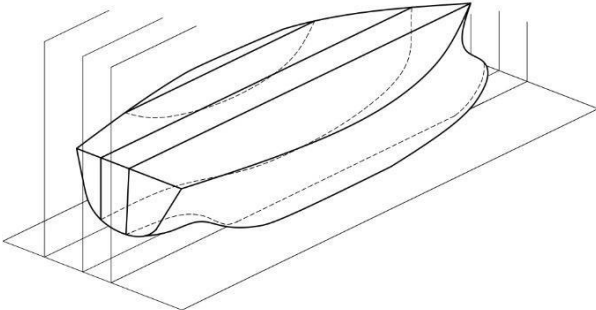


Fig. 10 - Perspectiva de cortes longitudinales (Secciones Longitudinales)

Planos de Líneas

La representación unitaria de las líneas de trazado de un casco se consigna en un único plano denominado *Plano de Líneas*, en el cual estarán incorporadas a escala todas las secciones de corte señaladas anteriormente.

El formato convencional de dicho plano se presenta en la Fig. 11.

En ella se puede identificar los tres planos de proyección, estando normalmente solapados los planos longitudinal y transversal, coincidiendo la sección de simetría de este último con la sección media en la primera.

Las cuadernas de construcción, que corresponden a los anillos que constituyen la estructura transversal del casco, serán definidos a partir del abatimiento en planta de las líneas de agua fundamentalmente, con la asistencia del abatimiento sobre el plano longitudinal para la determinación de las coordenadas completas de los puntos sobre las curvas espaciales como las cubiertas, aristas, etc.

Las intersecciones de las líneas correspondientes a las estaciones y líneas de agua generan una malla de puntos tridimensional que en conjunto con otros puntos auxiliares permiten definir la geometría completa del casco. Esa malla o *Tabla de Puntos* es utilizada para los cálculos que permitirán determinar las propiedades de los volúmenes de las carenas definidas por cada uno de los calados a los cuales se encuentran situados los planos de agua, y adicionalmente para la determinación de las magnitudes requeridas para el cálculo de estabilidad de las carenas inclinadas.

La metodología utilizada tradicionalmente para la determinación de las propiedades de las carenas se basa en la integración numérica de curvas y superficies, representadas por las líneas de agua y estaciones y por sus superficies correspondientes. Antigamente los cálculos eran realizados en forma manual, con el auxilio de extensas planillas que debían completarse manualmente una a una. Los avances tecnológicos permitieron primero la incorporación de planillas electrónicas que incluían la automatización de los cálculos, y luego la programación lineal y matricial que requería únicamente el ingreso de la base de datos correspondiente a las dimensiones principales, la tabla de puntos y los puntos auxiliares.

Cada avance logró mejorar los tiempos de resolución y la reducción en la incertidumbre general en los resultados, fundamentalmente porque permitió el aumento del número de estaciones y líneas de agua sin modificar los tiempos de procesamiento y cálculo en forma sensible.

La introducción de herramientas de diseño en tres dimensiones llevó el diseño naval a un estadio superior con la visualización en tiempo real de las formas con sus virtudes y defectos, estos últimos pudiendo ser resueltos o reparados también en tiempo real. En el mismo sentido, prácticamente en forma instantánea son entregados los valores de sus propiedades hidrostáticas, estabilidad y eventualmente de resistencia hidrodinámica en la medida que se incorporen modelos matemáticos o más sofisticados programas de *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*).

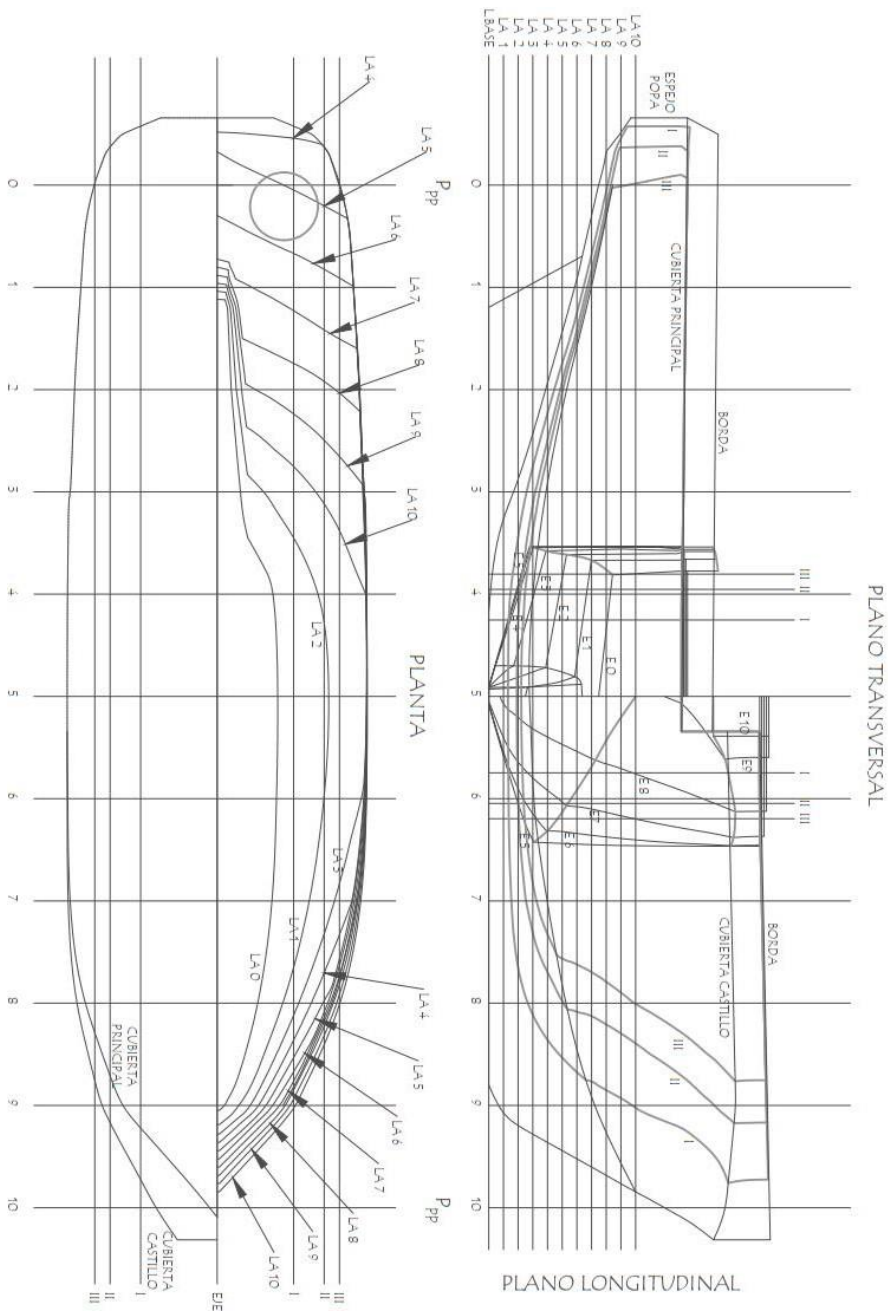


Fig. 11 - Plano de Líneas, representación convencional

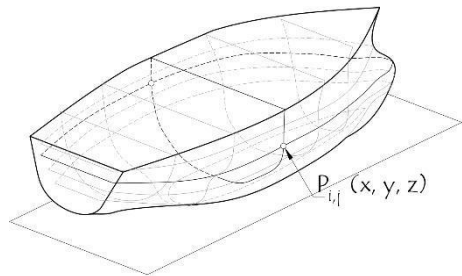
Estos avances han permitido canalizar y concentrar el tiempo de diseño en temas específicos relacionados con aspectos hidrodinámicos, capacidad de carga, sistemas de propulsión y auxiliares, en lugar de disponer de un tiempo extraordinariamente extenso en tareas completamente rutinarias que no aportaban al proceso creativo.

Independientemente de estas reflexiones y sin dejar de reconocer que los avances tecnológicos han sustituido ampliamente las metodologías anteriores, se ha optado en este texto por mantener la formulación tradicional para el cálculo de áreas y volúmenes a partir de métodos de integración numérica, y su aplicación a los cálculos de las propiedades volumétricas de las carenas, a los efectos de que el lector pueda tener una visión más amplia de lo que subyace y sostiene los programas computacionales utilizados.

Tabla de puntos

Las curvas abatidas en el Plano de Líneas completan en forma tridimensional la superficie del casco del buque. Todos los puntos de las curvas dibujadas, estaciones, líneas de agua, secciones laterales, pertenecen a esa superficie, y en particular aquellos que se identifican con la intersección de curvas pertenecientes a planos perpendiculares, como por ejemplo las estaciones y las líneas de agua.

La posición de un punto genérico como el que está representado en la Fig. 12, viene dada por las tres coordenadas espaciales que corresponden respectivamente a la posición longitudinal de la estación i , la semimanga o posición transversal respecto al Plano de Crujía y la altura en relación con el Plano Base de la línea de agua j .



Las intersecciones de las m estaciones con las n líneas de agua formarán una malla o matriz de puntos P_{ij} que se conoce como *Tabla de Puntos*, los cuales conforman un conjunto finito de puntos a partir de los cuales se desarrolla e identifica la superficie de la carena prácticamente completa.

Esta matriz debe complementarse con puntos que pertenecen a otras curvas para una completa descripción de la superficie; estas curvas son el trancañil, unión entre la cubierta principal y el costado del casco, las aristas laterales en el caso de los cascos hidrocónicos, quillotes, roda, codaste, espejo de popa, etc.

La tabla de puntos en si misma es una base de datos que permite la recreación de las formas del casco, teniendo en cuenta además los puntos y curvas singulares no incluidos en ella y que deben agregarse a los efectos de completarlo. Sin embargo,

su mayor virtud y uso es el permitir la realización de todos los cálculos necesarios para determinar las propiedades hidrostáticas y de estabilidad, a través de las denominadas *Curvas Hidrostáticas* y *Curvas Cruzadas*, para lo cual se utilizarán procedimientos de integración numérica que serán vistos oportunamente.

Movimientos de un buque

Para completar la descripción de los aspectos elementales relacionados con el buque y el nomenclátor correspondiente, se expone a continuación un breve resumen de indicaciones asociadas a la cinemática y que son aplicables a movimientos críticos en condiciones cuasi estáticas, fundamentalmente en correspondencia con la estabilidad transversal.

Considérese un tensor de solicitaciones descrito por una fuerza F y un momento M , el cual genera reacciones sobre el flotador que se identificarán como traslaciones en las direcciones ortogonales en el caso de aplicación de fuerzas directas, y desplazamientos angulares alrededor de los ejes correspondientes en el caso de los momentos.

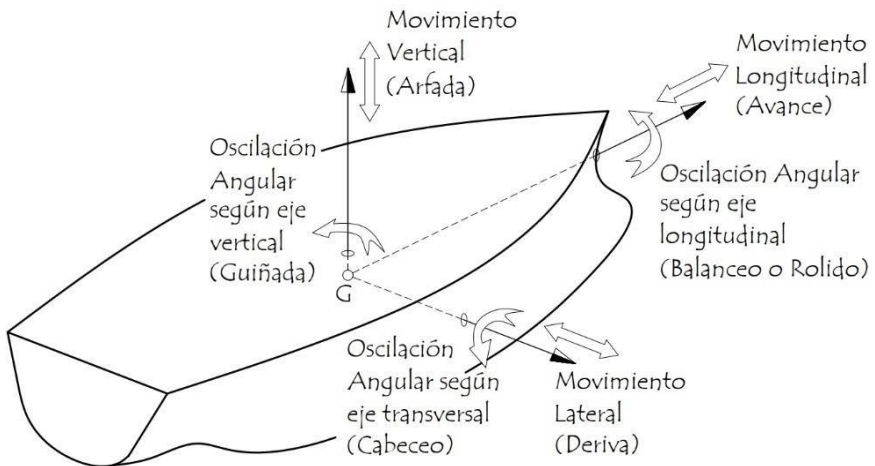


Fig. 13 - Movimientos del buque

Las fuerzas aplicadas en las direcciones de los ejes longitudinal y transversal generan movimientos de *avance* y *deriva* o *traslación lateral*, pero no modifican las condiciones hidrostáticas del flotador, oponiéndose a éstas la resistencia generada por el fluido.

En cambio, una fuerza en la dirección vertical generará una variación de la posición del flotador o *hundimiento* según dicho eje, con una variación en el volumen sumergido que se opondrá a dicho movimiento. Una vez cesado el estímulo, el flotador retomará su configuración de equilibrio.

El flotador también reacciona cuando se aplican momentos cuyos ejes coinciden en dirección con el eje transversal a través del movimiento denominado *cabeceo*, o de eje longitudinal a través del *balanceo o rolido*, al generarse un par de fuerzas debido al movimiento relativo de los centros de aplicación de las fuerzas presentes, el peso y el empuje.

Sin embargo, no existe una reacción del flotador cuando el momento es aplicado según la dirección vertical, encontrando como única respuesta la resistencia del fluido que produce el movimiento denominado *guiñada*.