



CAPÍTULO 2 - GEOMETRÍA Y FORMA DEL CASCO

(Traducción Libre AGC 2021) (ENGINEERING", 2021)

Contenido

OBJETIVOS DEL CAPÍTULO	2
2.1. Introducción a Buques e Ingeniería Naval	3
2.2. Clasificación de buques	4
2.3. La forma tradicional de representar la forma del casco de un buque.....	11
2.4. Tabla de Offset o de Datos	18
2.5. Características de la forma del casco	19
2.6. Centroides	21
2.7. Dos centroides muy importantes – El Centro de Flotación y el Centro de Boyantéz:	22
2.8. Cálculos geométricos fundamentales	24
2.9. Cálculos numéricos utilizando la 1ra regla de Simpson.	26
2.10. Curvas de Forma.....	41
Sección 2.2 Tipos de buques:	46
Sección 2.3 a la 2.5 Planos de buques:.....	46
Sección 2.7 Centro de Flotación y Centro de Flotabilidad	50
Sección 2.8 Regla de Simpson	50
Sección 2.9 Área del Plano de Flotación	50
Sección 2.10 Curvas de Forma.	51



OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

1. Familiarizarse con la clasificación de buques
2. Explicar las diferencias entre sustentación aerostática, hidrostática e hidrodinámica.
3. Familiarizarse con los siguientes tipos de vehículos marinos: Buques de desplazamiento, Catamaranes, Cascos de Planeo, hidroplanos aerodeslizadores, SWATH, y submarinos.
4. Conocer el Principio de Arquímedes en forma escrita y matemática
5. Calcular problemas utilizando el Principio de Arquímedes
6. Leer, interpretar y relacionar los planos de cuerpo (vista de frente), de media manga (vista desde arriba) y de finos (vista de costado), incluyendo los nombres de las líneas de cada gráfico.
7. Relacionar la información del plano de líneas de un buque con la tabla de Offsets o tabla de puntos.
8. Familiarizarse con la siguiente terminología de cascos:
 - 8.1. Perpendicular de Popa (AP o Ppp), Perpendicular de Proa (FP o Ppr) y sección media.
 - 8.2. Eslora entre perpendiculares (Lpp) y eslora total (LOA)
 - 8.3. Quilla (K), Puntal (D), Calado (T), Calado medio (Tm), Francobordo y Manga (B).
 - 8.4. Línea de crujía, línea base y Offset.
9. Definir, comparar y contrastar “Centroide” y “Centro de Masa”
10. Determine el significado físico y la localización del Centro de Boyantéz (B) y Centro de Flotación (F); localice estos puntos utilizando LCB, VCB, TCB, TCF, y LCF
11. Utilizar la primera regla de Simpson para calcular lo siguiente dados los datos de una tabla de puntos (Offsets):
 - 11.1. Plano de Línea de Agua (Awp) or (WPA)
 - 11.2. Área de secciones (A_{sec})
 - 11.3. Volumen sumergido (∇)
 - 11.4. Centro de Flotación Longitudinal (LCF)
12. Saber leer y utilizar las curvas de forma para encontrar propiedades hidrostáticas.
13. Calcular el asiento cuando se conocen los calados y entender su significado físico.



2.1. Introducción a Buques e Ingeniería Naval

Los buques son el producto más caro que una nación produce para fines de defensa, comercio, investigación o para cualquier otra función que se requiera. Si nos corresponde utilizar o fiscalizar el uso de estos equipos de alto valor en forma adecuada, debemos entender cómo y por qué se operan de la forma en que se utilizan.

Los buques emplean prácticamente casi todos los sistemas de ingeniería imaginables. Poseen una red de estructuras que mantiene al buque en una pieza, protege a su contenido y su tripulación. La maquinaria propulsa al buque y satisface los requerimientos de la dotación. Cada necesidad de la dotación debe proporcionarse para: cocinar, comer, eliminar la basura, dormir y asearse. El estudio de un buque abarca al estudio de Ingeniería y de sus Sistemas.

Hay muchos tipos diferentes de buques y cada uno tiene ventajas y desventajas. Los factores que influyen en la decisión del diseñador¹ de una nave o en la elección de un cliente, incluyen: costos, tamaño, velocidad, comportamiento marino, huella de radar, calado, maniobrabilidad, estabilidad requerimientos operativos (misiones) y otras capacidades especiales. El diseñador debe ponderar todos estos factores cuando intenta satisfacer las especificaciones establecidas por su cliente. La mayoría de los buques sacrifican algunas características, como el bajo costo, por otros la velocidad.

La construcción de un buque es como la construcción de un vehículo terrestre - un autobús no será tan eficiente como un auto de ciudad ni se recolecta basura en un automóvil deportivo. De forma similar, no transportan contenedores comerciales en una fragata o un destructor, y es difícil que uno contrate un crucero por el Caribe en una barcaza.

El estudio de la ingeniería naval es la asociación entre el arte y la artesanía de la construcción naval, junto a los principios de la física y de las ciencias de la ingeniería para satisfacer los requerimientos de un buque. Considera la investigación, desarrollo, diseño, construcción, operación, mantenimiento y apoyo logístico de los buques. Este curso introductorio está destinado a dar a cada estudiante una apreciación de las áreas más comunes. Se entiende como un curso que dará buenos conocimientos prácticos a cada oficial asignado al servicio naval en tierra, mar o aire.

La construcción y diseño de embarcaciones es una práctica que se remontan al primer cavernario que cavó una cavidad en un tronco de árbol para hacer una canoa. El nacimiento de la construcción naval "moderna"; la que nace del arte y de la ciencia, se atribuye a Sir Anthony Deane, un carpintero que escribió un tratado de la Doctrina de la Construcción Naval en 1670.

¹ Arquitecto, Constructor Naval o Artesano de Rivera



2.2. Clasificación de buques

El término buque se puede utilizar para representar una amplia gama de artefactos navales que operan en, sobre o bajo la superficie del agua. Para ayudar en la comprensión de esta materia, los buques normalmente se clasifican en grupos basados en su uso, forma en que se soportan respecto del agua cuando están operando, o mediante ambas.

Una lista de clasificación podría incluir a los siguientes:

- **Buques Mercantes:** Buques que están destinados a generar un beneficio económico en la distribución de la mercadería. Se comparan los ingresos con los costos para realizar un análisis del retorno y rendimiento de la inversión. Los estudios económicos incluyen recibos obtenidos, costos de adquisición, costos de operación y de mantenimiento, incluyendo el valor del buque actualizado en el tiempo cuando es enajenado.
- **Buques navales y Guardacostas:** Se clasifican en buques de combate o auxiliares. Estas naves tienden a ser extremadamente costosas debido a que sus roles y misiones requieren de muchas capacidades que incluyen: velocidad, resistencia, capacidad bélica, operar y sobrevivir en entornos hostiles y confiabilidad en situaciones de combate.
- **Embarcaciones de recreo y placer:** Las embarcaciones personales de recreo y los cruceros son una clase especializada de buques que se utilizan para obtener ganancias al proporcionar servicios de recreación al público en general. El confort y la seguridad son de la primera importancia.
- **Remolcadores utilitarios:** Diseñados para un funcionamiento prolongado y fácil mantenimiento de ejecución sencilla.
- **Naves de investigación y medioambientales:** Utilizan equipos altamente especializados que a menudo deben desplegarse dentro y fuera del agua, además de tener requerimientos de posicionamiento dinámico².
- **Ferries:** Deben tener la capacidad de cargar/descargar vehículos y personas con eficiencia y seguridad de acuerdo con un estricto programa de tiempo en cualquier condición climática.

² Un sistema que controla automáticamente la posición y el rumbo de un buque empleando únicamente medios activos de propulsión y gobierno.



Los buques también pueden clasificarse por cómo se sustentan físicamente cuando están en operación. En la Figura 2.1, reproducida de “Introducción a la Arquitectura Naval” de Gillmer y Johnson, se muestran tres clasificaciones generales frecuente utilizadas por arquitectos navales.

- Soporte aerostático
- Soporte hidrodinámico
- Soporte hidrostático

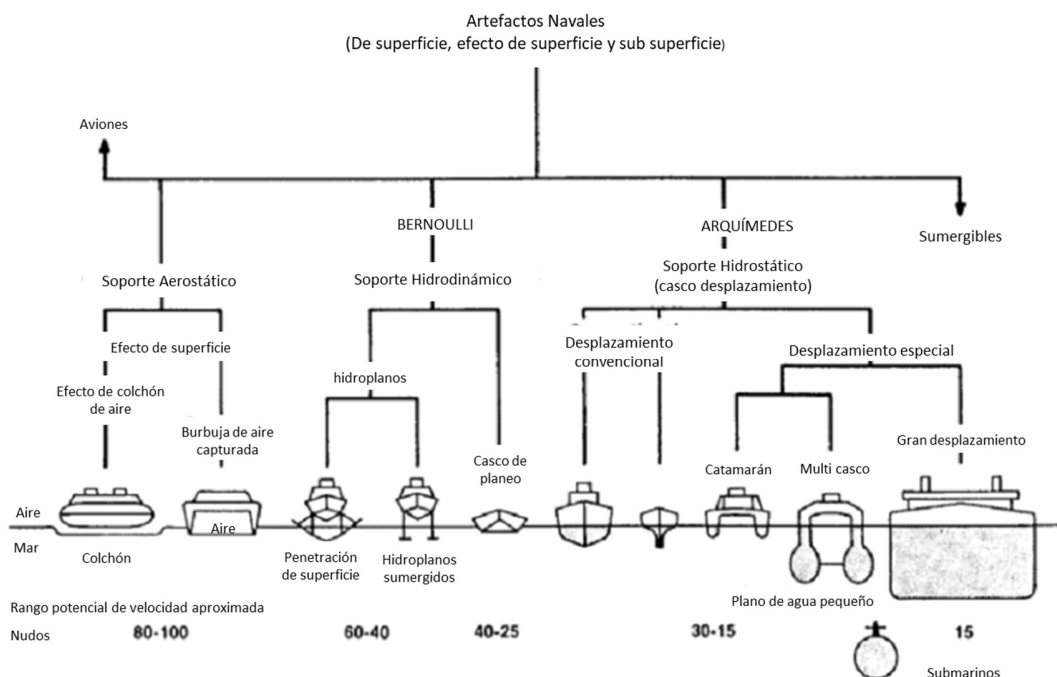


Figura 2.1 Categoría de vehículos acuáticos según su modo de sustentación

2.2.1 Soporte aerostático

La sustentación aerostática se logra cuando un artefacto naval se mueve sobre un colchón de aire generado por ventiladores de aire. Estos vehículos tienden a ser livianos y de alta velocidad y los dos tipos básicos de este tipo de embarcaciones son los vehículos que navegan sobre un colchón de aire (ACV – Air Cushion Vessel) y los de efecto de superficie (SES – Surface Effect Ships).

2.2.1.1. Vehículos con colchón de aire (ACV's)

Los ACV's, Hovercraft o aerodeslizadores fuerzan aire continuamente hacia abajo para inflar un colchón que está ubicado en la parte baja de la estructura. El aire escapa por la parte perimetral inferior del colchón y es reemplazado por nuevos volúmenes de aire forzados por los ventiladores en forma continua. La propulsión avante se logra mediante hélices de aviación que está instaladas en la superestructura y que tienen adosados timones en la descarga de aire para lograr control de dirección. Muchas armadas y empresas utilizan este tipo de vehículos marinos por su habilidad de operar también sobre tierra. Los vehículos de asalto permiten acceder al 75% de las costas del mundo, comparado con sólo el 5% de las embarcaciones de desembarco



convencionales.

Ventajas: Operaciones anfibas y alta velocidad de inserción transhorizonte.

Desventajas: Costo de operación elevado con capacidad de carga limitada, pobre estabilidad en el control de dirección cuando usa timones de aire, ruidosos, limitados por las condiciones de mar, baja capacidad de supervivencia e ineficientes en el consumo de combustible.

2.2.1.2 Buques con efecto de superficie (SES) o de burbuja de aire cautiva (CAB – Captured air bubble)

Son similares a los aerodeslizadores debido a que logran su sustentación por un colchón de aire, pero la diferencia es que sus paredes son rígidas y se extienden hacia dentro del agua, lo que les proporciona estabilidad direccional y sustentación hidrostática o hidrodinámica. Normalmente están propulsadas por Waterjets o por hélices súper cavitantes. La Armada Estadounidense utilizó dos modelos experimentales desde 1972 a 1975; los SES-100 y SES 200 de 100 y 200 toneladas de desplazamiento respectivamente, que podían alcanzar velocidades por sobre los 80 nudos con una dotación de 6 a 7 personas. Algunas marinas europeas operan SES como lanchas rápidas restringidas a aguas costeras.

Ventajas: Comparados con los aerodeslizadores, requieren menos aire para sustentarse en el agua, son más estables en el control de dirección y tienen más capacidad de carga.

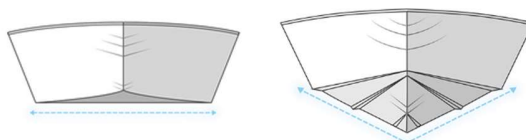
Desventajas: No son anfibios y su costo de operación es muy alto respecto de su capacidad de carga.

2.2.2 Soporte hidrodinámico.

El prefijo hidro se utiliza para agua y dinámico para movimiento. Los dos tipos de vehículos navales que logran sustento hidrodinámico son los de casco de planeo y los que se sustentan en hidroplanos o hidrofoils.

2.2.2.1 Embarcaciones con casco de planeo

Las embarcaciones con cascos de planeo usan las presiones hidrodinámicas que desarrolla el casco a alta velocidad para sustentarse. Estas son cómodas cuando transitan por aguas calmas, pero en presencia de oleaje tienen un comportamiento violento causado por las aceleraciones, generando grandes esfuerzos en el casco, superestructura y en la tripulación. Esto era particularmente cierto en los antiguos cascos de planeo de quilla plana, los que fueron reemplazados por cascos de planeo con quilla en forma de “V” como los ejemplos que se muestran en las siguientes figuras:



La incorporación de los cascos en “V” permitió atenuar el comportamiento violento de la embarcación frente a oleaje.



Para usar las presiones hidrodinámicas en los cascos de planeo, es necesario limitar el tamaño de las embarcaciones y por ello se utilizan principalmente como embarcaciones de recreo, lanchas de patrullaje, lanchas misileras y embarcaciones de carrera. A bajas velocidades las embarcaciones de planeo se comportan como cascos de desplazamiento y se sustentan en el agua en forma hidrostática.

Ventajas: alcanzan velocidades superiores a 50 nudos, son comfortable en aguas tranquilas.

Desventajas: Requieren motores muy potentes para su tamaño, se golpean mucho con oleaje moderado/severo y tienen capacidad de carga limitada.

2.2.2.2 Las embarcaciones con hidroplanos sustentadores (Hidrofoils)

Las embarcaciones con hidroplanos logran su sustentación en el agua mediante perfiles hidrodinámicos bajo el agua, similares a las alas de los aviones. A altas velocidades, estos hidroplanos generan sustentación y sacan el casco fuera del agua. Este efecto de sustentación se explica normalmente utilizando el principio de Bernoulli. Comparados con los cascos de planeo, los que utilizan hidroplanos sustentadores generan menores aceleraciones verticales frente a oleaje moderado, haciéndolas comparativamente más cómodas; sin embargo, este tipo de embarcación puede ser muy incómoda e incluso peligrosa en mar gruesa debido a que las “alas” pueden salir del agua y golpearse contra las olas al igual que el casco. Si el mar se encuentra muy agitado, no se utilizarán los hidrofoils y el casco se comportará como casco de desplazamiento.

Para que los hidroplanos puedan generar suficiente fuerza para sacar al casco fuera del agua, es necesario limita el tamaño del casco. Por ello la capacidad de carga y tamaño de la dotación queda limitado, por lo que el uso de este tipo de embarcaciones no es costo efectivo comparada con buques de desplazamiento convencional. Han dejado de utilizarse por los altos costos de adquisición y de mantenimiento.

Ventajas: Son embarcaciones rápidas que pueden navegar hasta 40 y 60 nudos y son más suaves en aguas moderadas que los cascos de planeo.

Desventajas: Los costos de operación son muy altos para el tamaño de la embarcación, peligrosos en mar gruesa y tienen baja capacidad de carga.



2.2.3 Los buques con sustentación o soporte hidrostático

Son el más común de los artefactos navales. Este principio de sustentación acuática describe a cualquier artefacto que se rige por el Principio de Arquímedes.

Una definición escrita de este principio es:

“Un objeto parcial o totalmente sumergido en un fluido experimentará una fuerza vertical resultante igual en magnitud al peso del volumen de agua desplazado por el objeto”.

Esta fuerza se llama normalmente la “Fuerza de Boyantéz” o la “fuerza de flotación”. Este principio se puede escribir matemáticamente de la siguiente forma:

$$F_B = \rho g \nabla$$

Donde: F_B es la magnitud de la fuerza de boyantéz en (N) o en (Lbs_{fuerza})

ρ es la densidad del fluido en ($\frac{Kg}{m^3}$) ó ($\frac{Lb-s^2}{pie^4}$) ó ($\frac{Slug-s^2}{pie}$)

g es la aceleración de gravedad ($9,81 \frac{m}{s^2}$) ó ($32,17 \frac{pie}{s^2}$)

∇ es el volumen de fluido desplazado en (m^3) ó (pie^3)

Ejemplo 2.1 (utilizando unidades inglesas): Calcular la fuerza de boyantéz de una embarcación que tiene un volumen sumergido de $20 ft^3$ cuando flota en agua salada. ($\rho_{\text{agua salada}} = 1.99 \frac{lb-s^2}{ft^4}$).

$$F_B = \rho g \nabla = 1,99 \frac{lb s^2}{ft^4} \times 32,17 \frac{ft}{s^2} \times 20 ft^3$$

$$F_B = 1.280 lb$$

Ejemplo 2.1 (utilizando unidades del S.I.): Calcular la fuerza de boyantéz de una embarcación que tiene un volumen sumergido de $0,6 m^3$ cuando flota en agua salada. ($\rho_{\text{agua salada}} = 1.025,00 \frac{kg}{m^3}$).

$$F_B = \rho g \nabla = 1,025,00 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 0,6 m^3$$

$$F_B = 6,033 N$$

Ejemplo 2.2 (utilizando unidades inglesas): ¿Cuál es el volumen sumergido de un buque que experimenta una fuerza de boyantéz de 4.000 LT cuando flota en agua dulce? ($\rho_{\text{agua dulce}} = 1.94 \frac{lb s^2}{ft^4}$ y $1 LT = 2240 lb$)

$$F_B = \rho g \nabla$$

$$\nabla = \frac{F_B}{\rho g} = \frac{4000 LT \times 2.240 \frac{lb}{LT}}{1,94 \frac{lb s^2}{ft^4} \times 32.17 \frac{ft}{s^2}}$$

$$\nabla = \frac{F_B}{\rho g} = 143.570 ft^3$$



Ejemplo 2.2 (utilizando unidades del S.I.): ¿Cuál es el volumen sumergido de un buque que experimenta una fuerza de boyantéz equivalente a 40.000 Newtons cuando flota en agua dulce? ($\rho_{\text{agua dulce}} = 1.000,0 \frac{kg}{m^3}$)

$$F_B = \rho g \nabla$$

$$\nabla = \frac{F_B}{\rho g} = \frac{40.000 N}{1.000,00 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$\nabla = \frac{F_B}{\rho g} = 4,077 m^3 \approx 4,1 m^3$$

Nota: Por costumbre, las referencias al desplazamiento de un buque son utilizando unidades de masa; normalmente toneladas, y no las de fuerza que son Newton. Para ello, cuando se solicite el desplazamiento de un buque y no se especifique expresamente calcular la fuerza, bastará con no utilizar la aceleración de gravedad y dar el resultado en términos de masa. Se utilizará el mismo ejercicio para ejemplificar esto:

¿Cuál es el volumen sumergido de un buque que experimenta una fuerza de boyantéz equivalente a 4.080 toneladas cuando flota en agua dulce? ($\rho_{\text{agua dulce}} = 1,0 \frac{t}{m^3}$)

Para identificar Desplazamiento de un buque se utiliza el símbolo Δ y ∇ para identificar el volumen de la obra viva de un buque

$\Delta = \rho \times \nabla$. En esta ecuación no se ha utilizado la aceleración de gravedad (g) y se trabaja con masa directamente.

Desarrollando el ejercicio:

$$\Delta = \rho \times \nabla$$

$$\nabla = \frac{\Delta}{\rho} = \frac{4.080 t}{1,0 \frac{t}{m^3}} = 4.080 m^3$$

2.2.3.1 Buques de desplazamiento.

Son aquellos cuyos cascos que se sustentan hidrostáticamente en el agua y nos referimos a ellos como buques de desplazamiento debido a que flotan desplazando su propio peso en agua según el Principio de Arquímedes. Corresponden a la forma más antigua de cascos, existen en todos los tamaños y son utilizados para una multiplicidad de propósitos diferentes como buques de carga, transporte de petróleo a granel, para operación con aeronaves, transporte de personas, pesca y buques de combate.

Los buques de desplazamiento tienen la ventaja de que tienen un casco de un tipo muy común y antiguo, por lo que sus costos y desempeños son ampliamente conocidos, han sido muy analizados y existe mucha experiencia en ellos. En comparación con otras alternativas, el costo de adquisición de un buque de desplazamiento es comparativamente económico respecto de la cantidad de carga



útil que pueden llevar.

Ventajas: Existe una vasta experiencia en su diseño y operación, la razón de costo versus capacidad de carga es baja.

Desventajas: Tiene velocidad limitada y dificultad de comportamiento marinerio (seakeeping) en mar gruesa (comparado con el modelo SWATH).

2.2.3.2 SWATH

Son un tipo especial de buques de desplazamiento con pequeñas áreas de flotación (**S**mall **W**aterplane **A**rea **T**win **H**ull). La mayor parte del volumen sumergido del SWATH está concentrado muy debajo de la superficie del agua como se muestra en la figura 2.1. Esto le brinda un muy buen comportamiento marinerio o Seakeeping. Poseen además una gran cubierta abierta por lo que es muy útil para una variedad de aplicaciones que requieren plataformas estables y de cubiertas de gran tamaño y extensas. Normalmente se utilizan como buques de crucero, ferries, buques de investigación y de arreglos remolcados. Estas embarcaciones, a diferencia de otros tipos de buques tienen el problema de diseño en la resistencia estructural debido a momentos flectores transversales en la línea de crujía.

El “USNS Impeccable” es el Buque de investigación oceánico que tienen una configuración. Similar en comportamiento (pero no técnicamente una nave SWATH) es el trimarán LCS-2 Independence. (Ambos se aprecian en las siguientes fotografías)



Ventajas: Excelente comportamiento en el mar, gran cubierta para operaciones.

Desventajas: Calado muy grande, mayor costo de construcción y cargas estructurales.

2.2.3.3 Submarinos

Los submarinos son sustentados hidrostáticamente, pero por sobre los 3 a 5 nudos, el control de profundidad se logra hidrodinámicamente debido a la sustentación creada por los hidroplanos y la forma del casco.

El uso típico de los submarinos es como un arma de guerra, pero últimamente se han visto utilizados en muchas aplicaciones no militares. Algunos han sido diseñados con el propósito de ver arrecifes y la vida marina bajo el agua y como vehículos no tripulados para propósitos científicos utilizados en la búsqueda del Titanic o en una amplia gama de investigación oceanográfica.



2.3. La forma tradicional de representar la forma del casco de un buque

La forma tridimensional del casco de un buque es complicada. Con pocas excepciones, no es posible escribir una sola ecuación que describa la forma completa del casco de un buque. Es por ello por lo que los constructores navales han puesto énfasis en la descripción gráfica para describir la forma de un casco. Hasta hace poco mucho de estos cálculos eran hechos a mano. Hoy día se utilizan computadores digitales de alta velocidad para ayudar a la ingeniería con los dibujos, pero estas herramientas no reemplazan la imaginación y el sano juicio.

Tradicionalmente, la forma del casco se representa gráficamente mediante dibujos lineales. Las líneas de dibujo consisten en la interacción del casco con una serie de planos. Los planos son equidistantes entre sí (igualmente espaciados) para cada una de las 3 dimensiones. Cada plano unidireccional es perpendicular a los otros dos. Se dice que estos planos son mutuamente perpendiculares o planos ortogonales.

Los puntos de intersección de estos planos con el casco dan como resultado una serie de líneas que se proyectan en un solo plano ubicado en la parte frontal, superior o lateral del buque, dando como resultado tres proyecciones o vistas. Cada una de ellas se denomina: “Plano del cuerpo, vista transversal o plano de secciones”; “Plano de media manga, plano de flotación o vista superior” y “Plano de costado, vista lateral o plano de líneas de base o de finos” respectivamente. La figura 2.2 muestra la generación de estas vistas.

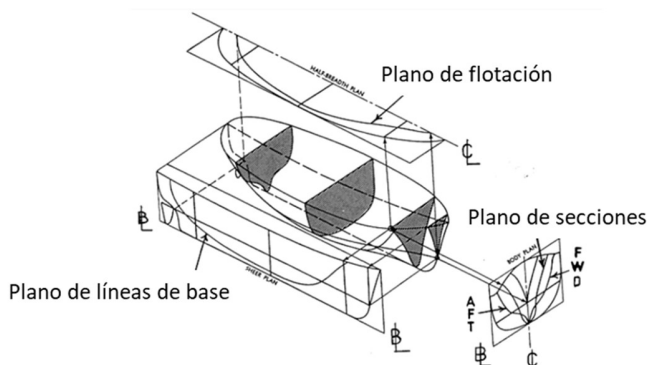


Figura 2.2 Proyección de líneas de forma en 3 planos ortogonales

Para visualizar como se usa un plano de líneas, coloque al buque en una caja rectangular imaginaria cuyos lados solo toquen la quilla y las bandas del casco. Para la vista desde el frente, corte la caja como una barra de pan de molde y luego dibuje cada rebanada en la cara imaginaria delantera. Repita el corte y realice el trazado para las otras dos vistas; desde la parte inferior y luego desde la parte lateral hasta lograr la proyección ortogonal de las vistas. Las líneas por proyectar resultarán de la intersección del casco con los planos que son paralelos a cada uno de los planos mencionados. Refiérase a la Figura 2.2 y al ejemplo gráfico que le sigue.

Representar un cuerpo en 3 dimensiones con tres planos ortogonales es una práctica común en construcción naval y éstos deben ser adecuados para comunicar gráficamente la idea de lo que se quiere construir. Estas proyecciones ortogonales se utilizan en todos los campos de la ingeniería para representar y diseñar una pieza técnica.



Para dibujar el casco de un buque, primero debe entenderse el sistema de referencia y el eje conveniente a utilizar. Usando los tres planes convencionales, cada plano mostrará una cuadrícula y curvas. Una cuadrícula en un plano puede representar a una curva en otro plano para el mismo casco y viceversa.

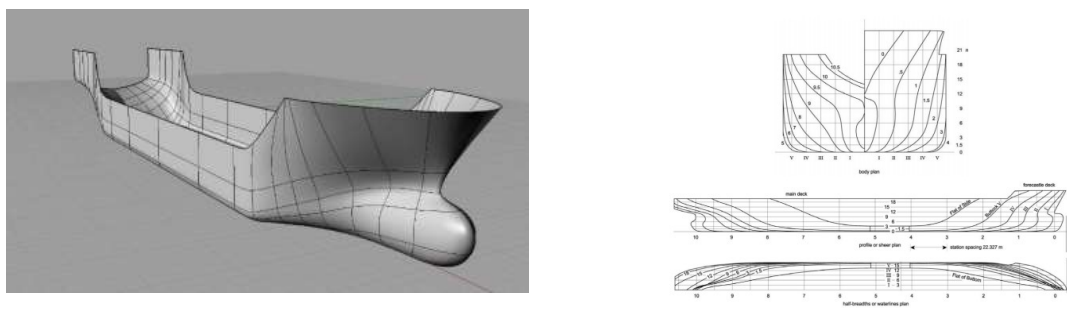
Las mediciones hacia babor o estribor se realizan desde la línea central o línea de crujía (LC) hacia las bandas.

Para medir la ubicación vertical de un punto, se determina la distancia desde la línea de base, normalmente ubicada en la quilla del casco hacia la posición vertical de interés. Cada separación vertical sobre esta línea base se llama línea de flotación.

Para medir las distancias longitudinales, los planos convenientes de referencia son la perpendicular de proa (FP), la perpendicular de popa (AP) y la cuaderna maestra (CM). Las estaciones o líneas de sección se miden a popa de la FP.

Estos planos de referencia se explicarán con más detalle y se utilizarán en el desarrollo de los tres planes de líneas ortogonales.

El siguiente es un ejemplo gráfico de la representación del casco de un buque:



Los planos paralelos a la parte frontal y posterior de la caja imaginaria se denominan estaciones. Un Buque se divide normalmente en 11, 21, 31 o 41 estaciones espaciadas uniformemente. Buques de mayor tamaño tienen más estaciones. Un número impar de estaciones da como resultado un número par de bloques iguales entre las estaciones.

La primera estación de proa en la roda suele establecerse como la estación número cero. Esta estación de la proa se llama la Perpendicular de Proa (FP). Por definición, el FP se ubica en una posición longitudinal para intersectar la roda del buque en la Línea de agua de diseño (Datum Waterline - DWL).

La estación de más a popa se llama perpendicular de popa (AP). Por definición, la AP se ubica en una posición longitudinal para intersectar la popa en el DWL para los buques con popa inclinada o alternativamente en la mecha del timón del buque.



La estación media entre las perpendiculares se denomina cuaderna maestra y generalmente se representa por el símbolo (∇). La distancia entre perpendiculares tiene el símbolo "Lpp" y es una distancia muy utilizada para realizar cálculos. La eslora total se designa por "LOA" y es una distancia muy útil para tener en cuenta cuando el buque se sube a dique o cuando se planifican las maniobras de atraque. La figura 2.3 muestra estas características del casco.

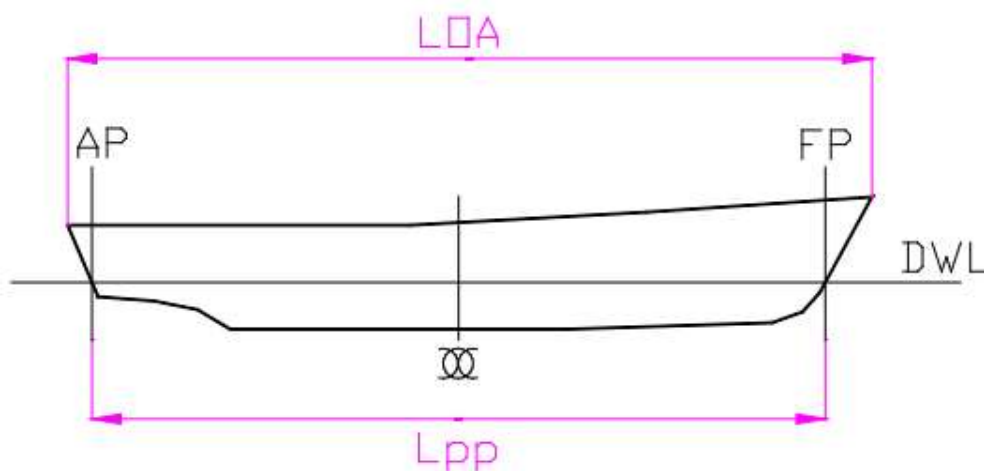


Figura 2.3 Nomenclatura de la forma del casco

Más información en:

<https://marineandnavalengineering.com/articulos/planos-formas-buque/>



2.3.1 Planos de secciones longitudinales, de perfil, cortes de costado o plano de finos:

Líneas de cuadrícula: líneas de agua y curvas de estaciones.

Curvas: líneas de base (distancias medidas a babor y a estribor de la línea de crujía)

Un plano que va de proa a popa directamente por el centro de la nave y paralelo a los lados de la caja imaginaria se llama plano de la línea central o plano de crujía. Una serie de planos imaginarios paralelos y laterales al plano de crujía a intervalos regulares desde la línea central. Cada plano intersectará el casco del buque y formará una línea curva en los puntos de intersección. Estas líneas se llaman "buttock" o "líneas de base" y todas se proyectan en un solo plano llamado el "Plano de finos, Vista Lateral o Sheer Plan en inglés". La figura 2.4 muestra la proyección de este plano.

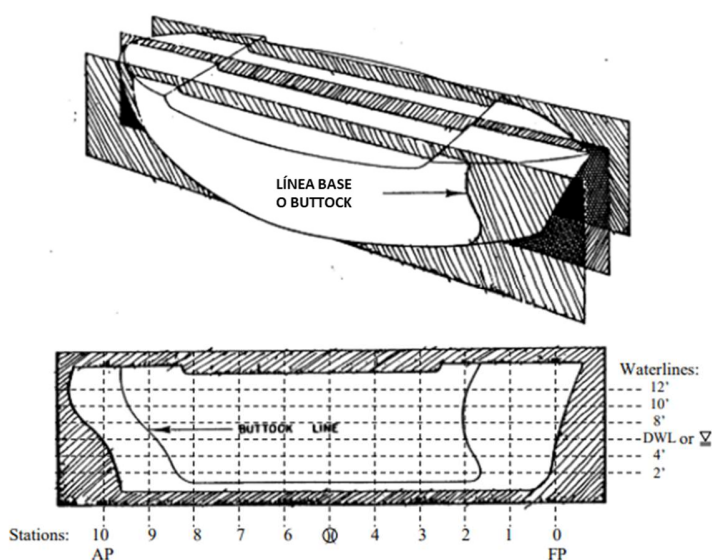


Figura 2.4 Plano de corte longitudinal o "sheer plan"

Cada línea de base muestra la verdadera forma del casco desde la vista lateral a cierta distancia desde la línea central del Buque. Esto les permite servir como un patrón para la construcción de la estructura longitudinal del Buque.

"El plano de la línea central muestra una línea base especial llamada "perfil" del buque".



"El plano de secciones longitudinales o de corte recibe su nombre de la idea de una línea que corta longitudinalmente a un buque. Esta línea es una curva longitudinal ascendente de la cubierta. Es la línea que le da calidad estética al navío".



2.3.2 Vista de Planta, planos de líneas de agua o plano de Media Manga (Half-Breadth Plan):

Líneas de cuadrícula: líneas base y líneas de estaciones.

Curvas: líneas de flotación (medidas verticalmente desde la línea de base)

La parte inferior de la caja es un plano de referencia denominado plano base, el que normalmente coincide con la quilla. Sobre el plano base y a intervalos regulares (cada 30 cm o 1 pie) nos podemos imaginar una serie de planos paralelos. Cada plano intersecará el casco del Buque y formará una línea curva en los puntos de intersección. Estas líneas se denominan "líneas de flotación" y todas se proyectan en un solo plano llamado "Plano de Media Manga". La Figura 2.5 muestra la generación de este plano

Cada línea de flotación muestra la forma verdadera del casco desde una vista superior sobre el plano de base y a una cierta distancia vertical de él, lo que permite que esta línea sirva como patrón para la construcción de la estructura del buque.

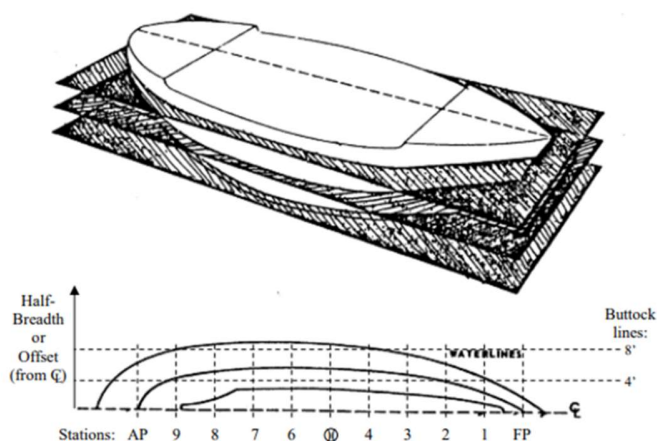
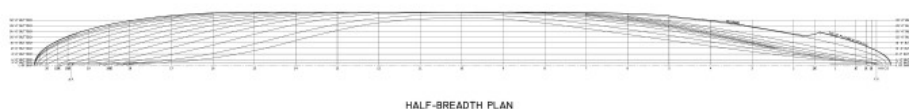


Figura 2.3 El plano de media Manga

Las líneas de agua a las que se hace referencia aquí no son necesariamente en las que el buque flota, corresponden a la intersección del casco con algún plano imaginario sobre el plano base. Habrá un plano sobre el plano base que coincida con el calado normal del buque y esta línea se llama "Línea de agua de diseño". La línea de agua de diseño a menudo se representa en los dibujos como "DWL" o "V".

"Como los buques son simétricos respecto de su línea central o de crujía (CL), solo se requiere dibujar el lado de babor o el de estribor y por ello se llaman "Planos de Media Manga".





2.3.3 Vista de frente, de secciones transversales o Planos del Cuerpo del Casco (Body Plan):

Líneas de cuadrícula: líneas de agua y líneas de base.

Curvas: Estaciones y líneas de estación (medidas desde la perpendicular de proa o de popa)

Cada plano de estación atraviesa el casco transversalmente y forma una línea curva en los puntos de intersección. Estas líneas se denominan “líneas de sección” o “estaciones” y todas se proyectan en un solo plano llamado “Plano del cuerpo”. Vea las Figuras 2.6 y 2.7 para mayor claridad.

El Plano del Casco aprovecha la simetría del casco del buque. Sólo se dibuja la mitad de cada sección debido a que la otra es idéntica. Por convención las estaciones de proa se dibujan en el lado derecho y las de popa en el izquierdo. La cuaderna maestra o sección media se muestra a ambos lados de este Plano. La línea vertical en el centro que separa la mitad izquierda de la derecha del buque se llama línea central o línea de crujía. Cada línea de sección muestra la forma real del casco del buque desde una vista frontal para una determinada posición longitudinal, lo que permite que esta línea sirva como patrón para la construcción de la estructura transversal del Buque.

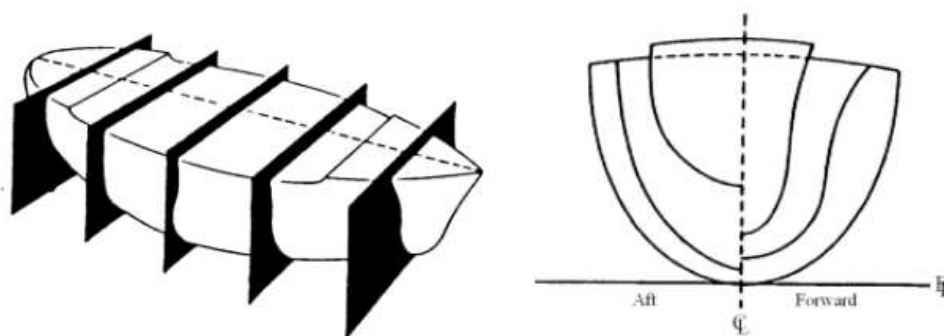


Figura 2.6 Plano de Secciones

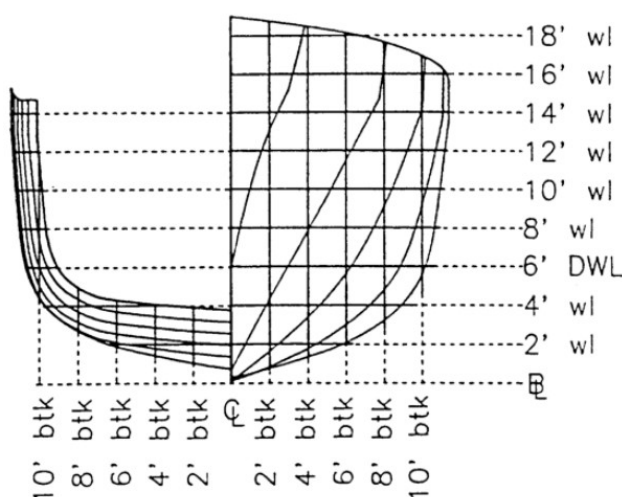


Figura 2.7a Ejemplo del Plano de Cuerpo de un buque

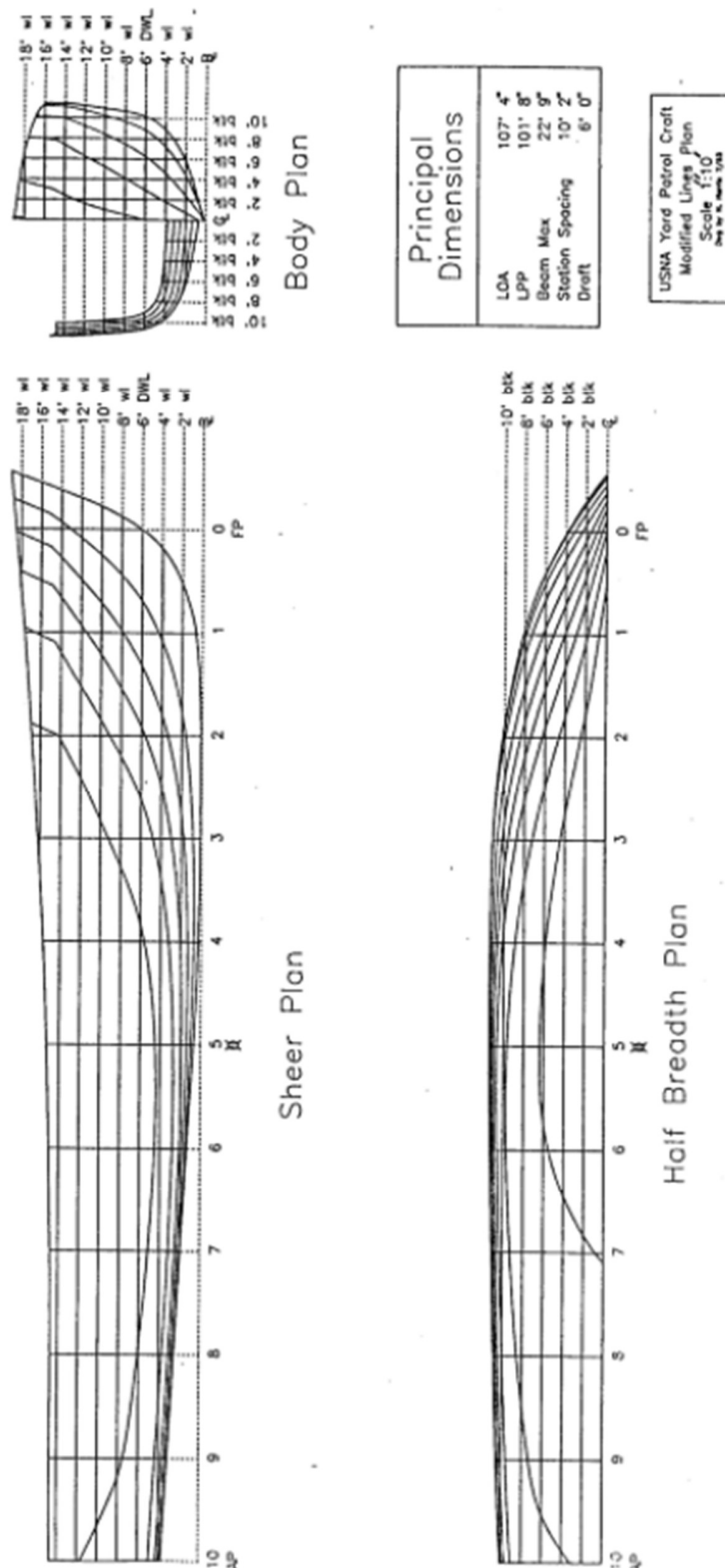


Figura 2.7b Ejemplo del Plano de líneas del mismo buque de la figura 2.7a



2.4. Tabla de Offset o de Datos

Para calcular las características geométricas del casco utilizando técnicas numéricas, los datos de los planos de líneas se convierten en una tabla de representación numérica convencional llamada tabla de datos.

Una tabla de Datos enumera las distancias en la dirección “y” desde la línea de crujía hasta el contorno del casco en cada estación y línea de flotación. Esta distancia se denomina “datos” o “distancia de media manga”. La Figura 2.8 muestra cómo estas medidas se organizan por fila y columna para formar una tabla de datos.

Existe suficiente información en las tablas de datos para dibujar los tres planos de líneas de un buque. Además, se pueden usar para calcular las propiedades geométricas del casco, como el área de secciones, el área del plano de agua, el volumen sumergido y la posición longitudinal del centro de flotación. La figura 2.9 muestra las medidas en cada línea y columna de una tabla de datos. Existe otra tabla como la que se muestra a continuación:

De las dos tablas, la de medias mangas son las más útiles, como se explicará cuando se realicen cálculos numéricos en la siguiente sección.

Media Manga desde ∇	Dirección “x” (estaciones a popa de perpendicular de proa)
Dirección “z” (Planos de agua verticales sobre la quilla)	Dirección “y” (Líneas de media manga o líneas base a babor o estribor desde línea de crujía)

Alturas sobre Quilla	Dirección “x” (estaciones a popa de perpendicular de proa)
Dirección “y” (Líneas de base a Bb o Eb desde ∇ verticalmente sobre la quilla)	Dirección “y” (Planos de agua verticales sobre la quilla)

Figura 2.8 Ejemplo de tabla Offsets

Media manga desde línea de crujía (ft)

Stations	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Top of Bulwark	3.85	8.14	10.19	11.15	11.40	11.40	11.26	11.07	10.84	10.53	10.09
18' Waterline	3.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16' Waterline	3.20	7.92	10.13	11.15	-	-	-	-	-	-	-
14' Waterline	2.41	7.36	9.93	11.10	11.39	11.40	11.26	11.07	10.84	10.53	10.09
12' Waterline	1.58	6.26	9.20	10.70	11.19	11.32	11.21	11.02	10.76	10.45	10.02
10' Waterline	0.97	5.19	8.39	10.21	10.93	11.17	11.05	10.84	10.59	10.27	9.84
8' Waterline	0.46	4.07	7.43	9.63	10.64	10.98	10.87	10.66	10.41	10.07	9.65
6' Waterline	0.00	2.94	6.25	8.81	10.15	10.65	10.56	10.32	9.97	9.56	9.04
4' Waterline	-	1.80	4.60	7.23	8.88	9.65	9.67	9.25	8.50	7.27	3.08
2' Waterline	-	0.72	2.44	4.44	5.85	6.39	5.46	0.80	-	-	-

Alturas sobre la línea base (ft)

Stations	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Top of Bulwark	18.50	17.62	16.85	16.19	15.65	15.24	14.97	14.79	14.71	14.71	14.70
10' Buttock	-	-	14.20	9.24	5.63	4.48	4.49	5.11	6.08	7.52	11.75
8' Buttock	-	16.59	9.14	4.82	3.24	2.71	2.77	3.16	3.71	4.36	4.97
6' Buttock	-	11.51	5.65	3.00	2.07	1.88	2.10	2.55	3.10	3.69	4.30
4' Buttock	-	7.87	3.40	1.76	1.32	1.41	1.78	2.30	2.86	3.45	4.08
2' Buttock	13.09	4.36	1.63	0.82	0.73	1.02	1.53	2.10	2.68	3.27	3.91
Keel	6.00	0.66	0.10	0.09	0.28	0.71	1.34	1.95	2.54	3.14	3.76

Figura 2.9 Ejemplo de tabla Offsets correspondiente a los planos de líneas de la figura 2.7b.



2.5. Características de la forma del casco

Pese a que ya se discutieron las características de la forma del casco aplicables a la vista de perfil de un buque, hay varios otros que son relevantes para una vista del casco desde proa o popa.

Como se mencionó, la quilla está en la parte inferior del casco y esta parte no es plana en la mayoría de los buques. Las distancias sobre la quilla se miden normalmente desde un plano de referencia constante, el plano base. La quilla se denota normalmente por la letra "K" en los diagramas y la distancia sobre la quilla es sinónimo de la distancia sobre la línea de base.

2.5.1 Puntal (D), Calado (T) y Manga (B)

El puntal del casco es la distancia desde la quilla hasta la cubierta. A veces, la cubierta tiene un camber o curvatura hacia arriba para facilitar el escurrimiento de agua en dirección a los costados, por lo que el puntal también se puede definir como la distancia desde la quilla a la cubierta en la intersección de la cubierta y el costado o la "cubierta en el costado". El símbolo utilizado para el puntal es "D". El puntal del casco es importante cuando se estudia la distribución de tensiones en toda la estructura del casco.

El calado (T) del Buque es la distancia desde la quilla hasta la superficie del agua. El calado medio es el calado en la cuaderna maestra.

El Francobordo es la diferencia entre "D" y "T".

La manga (B) es la distancia transversal a través de cada sección. Normalmente cuando nos referimos a la manga de un buque, estamos refiriéndonos a la máxima manga en la línea de agua de diseño o DWL.

La Figura 2.10 muestra las dimensiones de estos términos en una sección típica de una embarcación de un Buque.

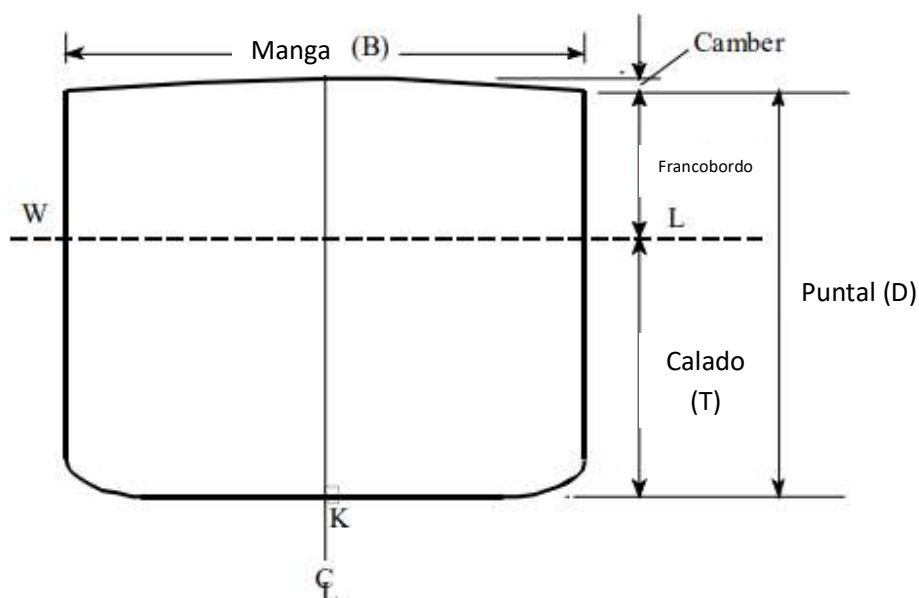


Figura 2.10 características de la forma del casco.



2.5.2 Modelamiento del casco (Flare y Tumblehome)

Las secciones de proa de la mayoría de los buques tienen una proa afinada característica, conocida como flare en inglés. En una proa afinada, las medias mangas se incrementan en la media que se alejan por sobre la quilla. Esta característica mejora el rendimiento de la nave cuando golpea y atraviesa una ola, mejora la resistencia al rolido e incrementa el espacio disponible en cubierta.

Los buques con una manga mayor en la línea de agua que en las cubiertas superiores se dice que tienen forma gruesa o tumblehome por su término en inglés. Este es un diseño más inestable para un buque, particularmente cuando vira a alta velocidad. En la actualidad es poco común que buques de superficie modernos; sin embargo, la clase de destructores Zumwalt (DDG-1000) tienen un casco con esta característica con un ensanchamiento significativo en la línea de agua, con el propósito de reducir la sección transversal del radar (RCS). Algunos yates de vela y los submarinos tienen este ensanchamiento en su casco. La figura 2.11 muestra ambos tipos de secciones de casco y posteriormente se puede apreciar a la FFG Lynch con casco afinado o Flare y al destructor Zumwalt con casco ensanchado o Tumblehome, ambos operando en RIMPAC 2022.

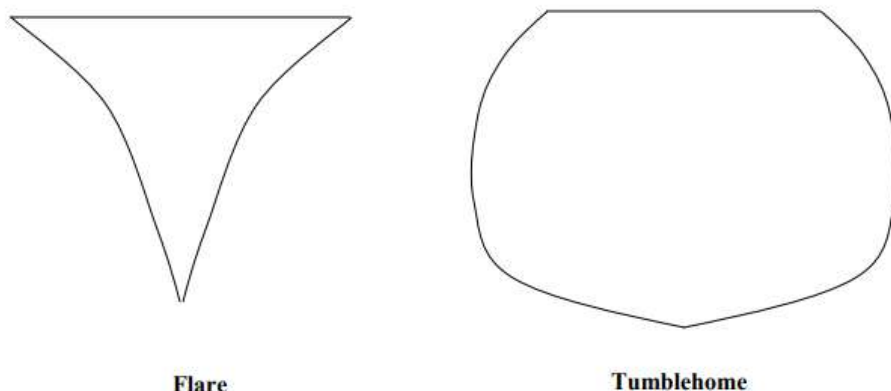


Figura 2.11 Sección afinada (Flare) y ensanchadas o gruesa (Tumblehome)



2.6. Centroides

Un centroide se define como el centro geométrico de un cuerpo.

Al centro de masa a menudo se llama el centro de gravedad y se define como la ubicación donde se puede considerar localizada toda la masa o el peso del cuerpo y representada como un punto de masa puntual. En condiciones ideales, un objeto podría colocarse y equilibrarse en un alfiler ubicado en el centro de la masa.

Si el objeto tiene una densidad uniforme; es decir, es homogéneo, entonces el centroide coincidirá con el centro de masa del cuerpo. Del mismo modo, si un objeto es simétrico con respecto a un eje, el centroide y el centro de masa estarán en ese eje. Por ejemplo, la ubicación transversal del centroide y del centro de masa de un Buque se encuentran a menudo en la línea de crujía. Conceptualmente, y en su aplicación a los buques, existe una gran diferencia entre un centroide y un centro de masa.

Tanto los centroides como los centros de masa se pueden encontrar realizando los promedios ponderados como se indicó en el capítulo uno. Por ejemplo, la Figura 2.12 muestra un cuerpo uniforme bidimensional de forma irregular. La ubicación del centroide en el eje "Y" se puede determinar descomponiendo el área total en pequeñas áreas y encontrando la distancia promedio "Y" de toda el área. Esto se puede repetir para encontrar la ubicación del centroide en "X". Esto dará como resultado las coordenadas cartesianas del centroide del área en evaluación respecto al sistema de ejes de coordenadas arbitrariamente elegido.

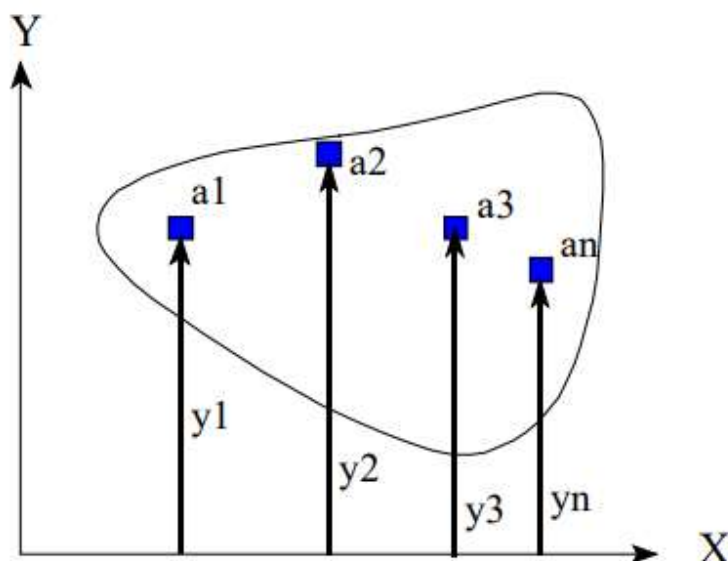


Figura 2.12 Cálculo del centroide de un área plana irregular.

Los siguientes pasos muestran como calcular el promedio ponderado matemáticamente.

1. "Pese" cada elemento de diferencia de área por su distancia desde uno de los ejes de referencia (Ej. $y_1 a_1, y_2 a_2, \dots, y_n a_n$). En la figura 2.11, la referencia es el eje x.
2. Sume los productos de área y distancia para calcular el primer momento de área respecto de la referencia:



$$\sum_{i=0}^n y_i a_i = \sum (y_1 a_1 + y_2 a_2 + y_3 a_3 + \dots + y_n a_n)$$

3. Divida el primer momento de área por el área total del objeto para obtener la posición del centroide respecto de la referencia original. Tenga en cuenta que la razón de la pequeña porción de área sobre el área total es el factor de ponderación conforme a lo indicado en el capítulo uno. Esto representa un promedio ponderado basado en el área total.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=0}^n y_i a_i}{A_T} = \sum_{i=0}^n y_i \left(\frac{a_i}{A_T} \right)$$

Donde: y es la posición del centroide desde el eje x (m o pie)
 A_T es el área total de la figura (m^2 o pie^2)
 y_i es la distancia al elemento "i" (m o pie)
 a_i es el área del elemento "i" (m^2 o pie^2)

Si tuviéramos que usar masas en lugar de áreas, entonces habría que ubicar el centro de masa.

Considere que las coordenadas de un centroide serían las mismas que las del centro de masa si el cuerpo fuese uniforme. Si el cuerpo está hecho de diferentes materiales y densidades, considere que el centroide y el centro de masa pueden ser diferentes.

2.7. Dos centroides muy importantes – El Centro de Flotación y el Centro de Boyantéz:

El concepto de centroide es muy importante en la Ingeniería Naval porque define la ubicación de dos puntos extremadamente útiles en el análisis de la estabilidad estática de un buque.

2.7.1 Centro de flotación (F)

El centroide del Plano de Flotación es el punto sobre el cual el Buque se escora y cambia de asiento. Este punto se llama centro de flotación (F) y actúa como punto de apoyo o punto de giro para un buque que flota libremente.

La distancia del centro de flotación a la línea de crujía se denomina "centro transversal de flotación" (TCF). Cuando el buque está adrizado, el centro de flotación está ubicado en la línea de crujía de modo que el TCF = 0 pies.

La distancia del centro de flotación a la cuaderna maestra (o a la perpendicular de proa o a la de popa) se denomina "centro longitudinal de flotación" (LCF). Cuando se utilice esta distancia, se debe indicar si la distancia es desde la cuaderna maestra o desde una de las perpendiculares para que quien lea dicha distancia sepa cuál fue la referencia utilizada. En el caso de utilizar la cuaderna maestra, debe indicarse si la posición del LCF es a proa o popa de la misma. Por convención, se utiliza un signo negativo para indicar hacia popa.

El centro de flotación está siempre ubicado en el centroide del plano de agua, lo que significa que su ubicación vertical está siempre en el Plano del Agua. Cuando la nave se escora a babor o estribor, o cambia de asiento hacia proa o popa, o cambia el calado, la forma del Plano de Agua cambiará, la ubicación del centroide variará de posición y ello originará un cambio en el centro de flotación.



2.7.2 Centro de Boyantéz (B)

El centroide del volumen sumergido del casco del buque es el lugar donde actúa la fuerza de Boyantéz resultante. Este punto se llama Centro de Boyantéz (B) y es extremadamente importante en los cálculos de estabilidad estática.

La distancia del centro de boyantéz a la línea de crujía se llama "centro transversal de flotabilidad" (TCB). Cuando el Buque está adrizado, el centro de flotabilidad está ubicado en la línea de crujía de modo que el TCB = 0 metros o pies.

La ubicación vertical del centro de boyantéz desde la quilla (o plano base) se escribe como "VCB" o como "KB" con una línea sobre las letras "KB" que indica que es un segmento de línea desde el punto "K" al punto "B".

La distancia del centro de boyantéz a la cuaderna maestra (o a las perpendiculares de proa o popa) se denomina "centro longitudinal de boyantéz" (LCB). Al escribir la distancia de la LCB, se debe indicar la referencia utilizada y si es respecto de la cuaderna maestra debe indicarse si es a proa o popa de ella utilizando un signo negativo si es hacia popa de la cuaderna maestra.

El centro de boyantéz siempre se encuentra en el centroide del volumen sumergido del buque. Cuando el buque se escora a una u otra banda, cambia su asiento o cambia su calado, la forma del volumen sumergido cambiará y con ello su centroide lo que alterará a posición del centro de boyantéz. Al revés del centro de flotación, el centro de boyantéz está siempre bajo el plano de agua.



2.8. Cálculos geométricos fundamentales

Como se indicó anteriormente, la forma del casco de un buque generalmente no se puede describir mediante ecuaciones matemáticas. Para calcular las propiedades geométricas fundamentales de un casco, se utilizan métodos numéricos. La regla trapezoidal y la 1ra regla de Simpson son dos métodos de integración numérica que se utilizan frecuentemente. En esta se utilizará la 1ra Regla de Simpson como herramienta de integración numérica para calcular las propiedades geométricas debido a su mayor precisión cuando se utiliza un número pequeño de puntos.

2.8.1 Teoría de la Primera regla de Simpson

La 1ra Regla de Simpson se utiliza para integrar una curva con un número impar de ordenadas espaciadas uniformemente a lo largo de la abscisa como se muestra en la Figura 2.13. La Regla de Simpson asume que los puntos están conectados tres a la vez por un polinomio de segundo orden desconocido.

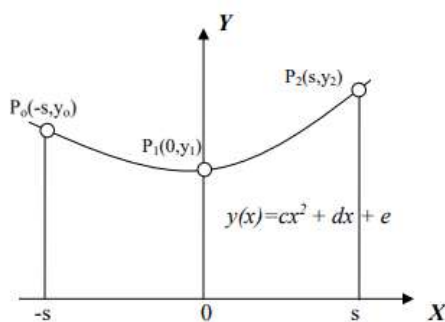


Figura 2.13 Curva con número de ordenadas espaciadas uniformemente, impares

El área bajo la curva en el rango de x desde $-s$ a s está dado por:

$$\text{Área} = \int_{-s}^s (cx^2 + dx + e) dx = \frac{s}{3} (2cx^2 + 6e)$$

Las coordenadas de los puntos en la curva, P_0 , P_1 y P_2 , son soluciones al polinómicas de segundo orden que describe la curva entre los puntos:

$$\begin{aligned} \text{En } x = -s; & \quad y_0 = cs^2 - ds + e \\ \text{En } x = 0; & \quad y_1 = e \\ \text{En } x = s; & \quad y_2 = cs^2 + ds + e \end{aligned}$$

Y por ello lo siguiente es verdadero:

$$y_0 + 4y_1 + y_2 = 2cs^2 + 6e$$

$$\text{Área} = \frac{s}{3} (y_0 + 4y_1 + y_2)$$



Si la curva se extiende más de tres ordenadas, puede también extenderse el esquema de integración. Por ejemplo: para calcular el área bajo una curva sobre cinco puntos espaciados uniformemente, $x = x_0$ a $x = x_4$, haga cálculos múltiples del área tres puntos a la vez

$$\frac{\left(\frac{1}{3}\right)(s)(y_0 + 4y_1 + y_2) + \left(\frac{1}{3}\right)(s)(y_2 + 4y_3 + y_4)}{\text{Área} = \left(\frac{1}{3}\right)(s)(y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + y_4)}$$

Para $x = x_0$ a $x = x_4$

Esta técnica de integración puede utilizarse para cualquier número impar de datos equitativamente separados.

$$\int_0^n y(x) dx = \frac{s}{3} [(1)y(x_0) + (4)y(x_1) + (2)y(x_2) + (4)y(x_3) + \dots + (2)y(x_{n-2}) + (4)y(x_{n-1}) + (1)y(x_n)]$$

2.8.2 Aplicación de la 1ra Regla de Simpson

Para aplicar la 1ra regla de Simpson a cualquier integral:

- Reemplace la integral por $1/3$,
- Cambie el diferencial al espaciado equidistante (dx a una " s " en este caso),
- Multiplicar por cualquier constante, y
- Multiplicar por la suma de Simpson.

La suma de Simpson es la suma de los productos de los multiplicadores (1, 4, 2, 4... 2, 4, 1) por las magnitudes de sus variables respectivas. Los multiplicadores siempre comenzarán con un "uno" para el primer término, un "cuatro" para el segundo término, y continuarán repitiendo la secuencia "dos" y "cuatro" para los términos restantes; sin embargo, siempre terminarán con un "cuatro" y un "uno" para los dos últimos términos. Para establecer este patrón, se requiere un número impar de términos, siendo el número más pequeño de términos 3. Tenga en cuenta que x_0 a x_4 son cinco puntos de datos, un número impar.

Para ejercer la 1ra Regla de Simpson, intente calcular el área de formas comunes, como un cuadrado, un triángulo y un semicírculo. Luego aumente el número de ordenadas y vuelve a intentarlo. ¿Qué efecto tiene el aumento del número de ordenadas en su respuesta?

Ejercicio de tarea: Use la 1ra Regla de Simpson para calcular el área de las siguientes formas comunes de dimensiones conocidas: cuadrado, triángulo, semicírculo.

- ¿Qué forma da el área más precisa?
- ¿Qué efecto tiene aumentar la cantidad de ordenadas en la precisión?



2.9. Cálculos numéricos utilizando la 1ra regla de Simpson.

Por favor, siempre siga estos pasos cuando realice estos cálculos. ¡Esto no es una opción! Los problemas de ejemplo que siguen a continuación se han hecho de este orden.

1. Comience con una imagen de lo que está a punto de integrar.
2. Muestre el elemento diferencial que está usando.
3. Etiquete correctamente los ejes y su dibujo.
4. Escriba la ecuación general de cálculo escrita en los mismos símbolos que usó para etiquetar su imagen.
5. Escriba la ecuación de Simpson en forma generalizada.
6. Sustituya cada número en la ecuación de Simpson generalizada.
7. Calcule una respuesta final.

La respuesta numérica final es la parte menos importante de este proceso. La idea no es acelerar estos cálculos para obtener la respuesta final, sino mostrar comprensión de las ecuaciones y su aplicación en cada paso.

La Figura 2.14 muestra la relación del material del Capítulo 2 que se basa para resolver los cuatro cálculos de la Regla de Simpson de esta asignatura.

Columna de la Tabla de Datos para trazar una sección →
 Plano de Secciones →
 Área de Secciones (usando Simpson), para cada estación →
 Volumen sumergido (usando Simpson)

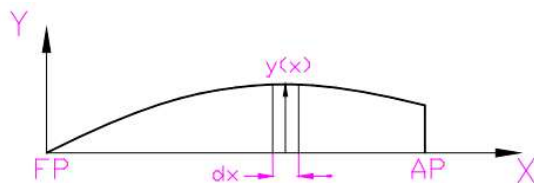
Fila en la tabla de Datos para trazar una línea de flotación →
 Plano de media manga →
 Área del Plano de flotación (por Simpson) →
 Centro longitudinal de flotación (por Simpson)

Figura 2.14 Relaciones del Capítulo Dos



2.9.1 Área de Plano de Flotación

Un plano de flotación se describe numéricamente por las medias mangas de cada estación. Comience por dibujar una imagen del área de un plano de flotación típico con los ejes "X-Y" adecuados. Dibuje una unidad diferencial típica en este diagrama y etiquete la base y la altura de este rectángulo.



Entonces y solo entonces, escriba la ecuación de cálculo sumando todas las diferenciales. Multiplique por "2", ya que sus distancias son solo la mitad del ancho.

$$A_{WP} = 2 \int dA = 2 \int_0^{L_{pp}} y(x) dx$$

Donde:

A_{WP}	es el área del Plano de flotación (m^2 o pie^2)
dA	es el diferencial de área de un elemento (m^2 o pie^2)
$y(x)$	es el dato de "y" o plano de media manga de cada valor de "x" (m o pie)
dx	es el ancho diferencial de un elemento (m o pie)

Escriba la ecuación generalizada de Simpson basado en su ecuación de cálculo.

$$A_{WP} = 2 \frac{1}{3} \Delta x [(1)(y_0) + (4)(y_1) + (2)(y_2) + \dots]$$

Observe que "dx" se convierte en " Δx " y es igual a la distancia entre estaciones. En un problema real, el siguiente paso sería sustituir cada número en la ecuación generalizada y calcular una respuesta final.



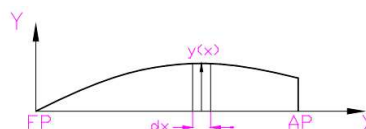
Ejemplo 2.3 Los datos de Datos que se dan a continuación representan la línea de flotación de 4,88 m de un Buque particular con cinco estaciones. La longitud entre perpendiculares es 99,5 m. Calcule el área del plano de flotación para la línea de flotación que se encuentra a 4,88 m sobre la línea base.

Línea de agua de los 4,88 m

Estación	0	1	2	3	4
Media manga	0,12 m	3,94 m	6,40 m	6,62 m	3,84 m

Solución:

Veamos primero la figura y los elementos diferenciales:



Ecuación de cálculo:

$$A_{WP} = 2 \int dA = 2 \int_0^{L_{PP}} y(x) dx$$

Ecuación de Simpson:

$$A_{WP} = 2 \frac{1}{3} \Delta x [(1)(y_0) + (4)(y_1) + (2)(y_2) + \dots]$$

Cálculo del espacio entre estaciones:

$$\Delta x = \frac{L_{PP}}{n-1} = \frac{99.5 \text{ m}}{4} = 24,88 \text{ m}$$

Donde n = número de estaciones

Sustituyendo y generando respuesta numérica:

$$A_{WP} = \frac{2}{3} 24,88 \text{ m} [(0,12) + (4)(3,94) + (2)(6,40) + (4)(6,62) + (3,84)] \text{ m} = 978,61 \text{ m}^2$$

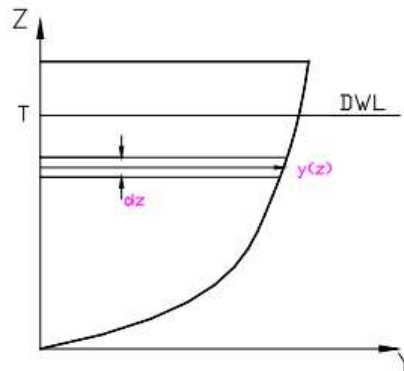
El área calculada es más precisa cuando la distancia entre estaciones (o intervalos equidistantes) disminuye. La longitud de un buque normalmente se divide en 11, 21, 31 o 41 estaciones que producen 10, 20, 30 y 40 intervalos equidistantes, respectivamente.



ESTABILIDAD Y ESTIBA

2.9.2 Área de secciones

Un área seccional se describe numéricamente por medias mangas a cada altura o línea de flotación por encima de la línea base. Hay un área de secciones diferente en cada estación. Comience por dibujar la figura de un área de sección típica en una estación con el eje "Y-Z" adecuado. En ella trace una unidad diferencial típica en este diagrama y etiquete la base y la altura de este rectángulo. Entonces y solo entonces, escriba la ecuación de cálculo sumando todas las piezas diferenciales.



Recuerde que se requiere multiplicar por "2" una de las dos medias manga para obtener una manga completa.

$$A_{Sección} = 2 \int dA = \int_0^T y(z) dz$$

Donde: $A_{sección}$ Es el área seccional de una línea de agua seleccionada (m² o Pie²)
 dA Es el diferencial del área de un elemento (m² o pie²)
 $y(z)$ Es el valor de media manga "y" a cada valor de "z" (m o pie)
 dz Es el diferencial de ancho de un elemento (m o pie)

Escriba la ecuación generalizada de Simpson basándose en su ecuación de cálculo.

$$A_{WP} = 2 \frac{1}{3} \Delta z [(1)(y_0) + (4)(y_1) + (2)(y_2) + \dots]$$

Observe que "dz" se convierte en un "Δz" y es igual a la distancia entre las líneas de flotación. En un problema real, el siguiente paso sería sustituir cada número en la ecuación generalizada y calcular una respuesta final.



ESTABILIDAD Y ESTIBA

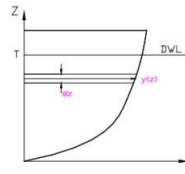
Ejemplo 2.4 La siguiente tabla entrega los datos de Datos para la estación 5 de un Buque particular. Calcule el área de sección de la estación 5, desde la línea de base hasta la línea de flotación que tiene un calado de 4,88 m.

Estación 5

Línea de agua	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m
Media manga	0,18 m	4,41 m	6,07 m	6,67 m	6,89 m

Solución:

Veamos primero la figura y los elementos diferenciales:



Ecuación de cálculo:

$$A_{\text{sección}} = 2 \int dA = \int_0^T y(z) dz$$

Ecuación de Simpson:

$$A_{WP} = 2 \frac{1}{3} \Delta z [(1)(y_0) + (4)(y_1) + (2)(y_2) + \dots]$$

Cálculo de espacio entre líneas de agua:

$$\Delta z = \frac{\text{calado}}{n-1} = \frac{4,88 \text{ m}}{4} = 1,22 \text{ m}$$

Donde n = número de líneas de agua consideradas

Sustituyendo los de números y generando respuesta:

$$A_{WP} = \frac{2}{3} 1,22 \text{ m} [(0,18) + (4)(4,41) + (2)(6,07) + (4)(6,67) + (6,89)] \text{ m}$$

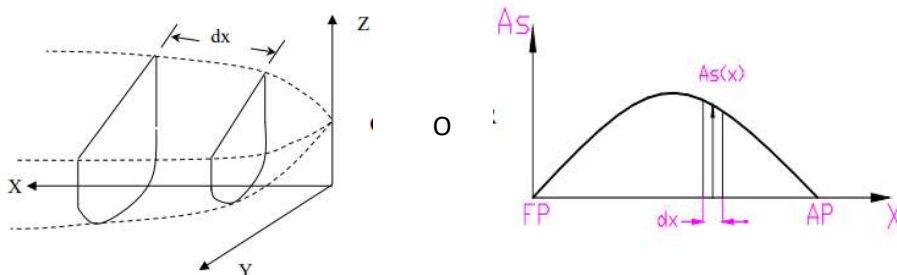
$$A_{WP} = 46,07 \text{ m}^2$$



ESTABILIDAD Y ESTIBA

2.9.3 Volumen sumergido: Integración longitudinal

El volumen sumergido se puede calcular mediante la integración de las áreas de sección a lo largo del buque. Comience por hacer un dibujo. Esta es más difícil de dibujar ya que tienen una forma tridimensional. Es bastante difícil mostrar el volumen diferencial, pero es el producto del área de sección por el grosor diferencial "dx". Alternativamente, puede dibujar la curva de área de sección. (FP → L_{P Proa} y AP → L_{P Popa})



Entonces y solo entonces, escriba la ecuación de cálculo sumando todas las piezas diferenciales.

Ahora no se requiere multiplicar por "2" ya que ya está usando áreas completas.

$$V_{\text{Sumergido}} = \nabla_S = \int dV = \int_0^{L_{PP}} A_{\text{sección}_i}(x) dx$$

Donde: ∇_S	Es el volumen sumergido (m ³ o Pie ³)
dV	Es el diferencial del volumen de un elemento (m ³ o pie ³)
$A_{\text{sección}(x)}$	Es el valor seccional del área de cada valor de "x" (m ² o pie ²)
dx	Es el diferencial de ancho de un elemento (m o pie)

Escriba la ecuación generalizada de Simpson basándose en su ecuación de cálculo.

$$\nabla_S = \frac{1}{3} \Delta x [(1)(A_0) + (4)(A_1) + (2)(A_2) + \dots]$$

Observe que "dx" se convierte en un "Δx" y es igual a la distancia entre una estación y otra. En un problema real, el siguiente paso sería sustituir cada número en la ecuación generalizada y calcular una respuesta final.



ESTABILIDAD Y ESTIBA

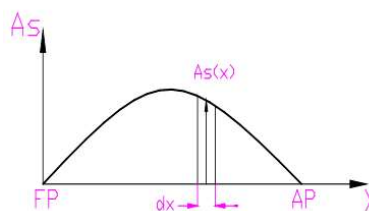
Ejemplo 2.5 A continuación se entrega las áreas de sección completas para un buque en particular. Calcule el volumen sumergido hasta la línea de flotación de 4,88 m de calado. La distancia entre perpendiculares es de 42,7 m.

Área de secciones desde la base hasta los 4,88 m

Estación	0	1	2	3	4
Área de Sección (m ²)	1,17 m	22,55 m	30,84 m	26,06 m	8,55 m

Solución:

Primero la figura y sus elementos diferenciales:



Ecuación de cálculo:

$$V_{\text{Sumergido}} = \nabla_S = \int dV = \int_0^{L_{PP}} A_{\text{Sección}_i}(x) dx$$

Ecuación de Simpson:

$$\nabla_S = \frac{1}{3} \Delta x [(1)(A_0) + (4)(A_1) + (2)(A_2) + \dots]$$

Cálculo del espacio entre secciones

$$\Delta x = \frac{L_{PP}}{n-1} = \frac{42,7 \text{ m}}{4} = 10,68 \text{ m}$$

Sustitución numérica y resultado:

$$\nabla_S = \frac{1}{3} (10,68 \text{ m}) [(1)(1,17) + (4)(22,55) + (2)(30,84) + 4(26,06) + (8,55)] \text{ m}^2$$

$$\nabla_S = 946,32 \text{ m}^3$$



ESTABILIDAD Y ESTIBA

2.9.4 Centro de Flotación Longitudinal (LCF)

El centroide del área del plano de flotación es el Centro de Flotación (F). Recuerde, este es el punto sobre el cual la nave se escora y cambia de asiento.

El Centro de Flotación Longitudinal (LCF) es la distancia desde un punto de referencia longitudinal hasta el centro de flotación. Por lo general, la referencia es la perpendicular de proa o la Cuaderna Maestra. Cuando la referencia es la perpendicular de proa, todas las distancias al centro de flotación son positivas. Cuando la referencia es desde la Cuaderna Maestra, por convención a las distancias a popa de ella se les asigna el signo negativo y las distancias a proa, positivo.

Muchos estudiantes confunden el punto (F) con la distancia longitudinal a dicho punto (LCF).

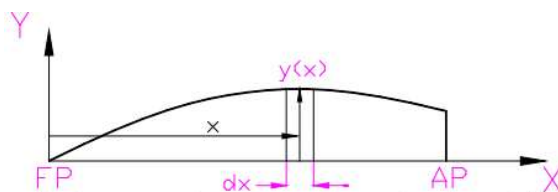
Una de las maneras más fáciles de formular la ecuación de cálculo para la determinación del LCF es usar la idea de promedios ponderados. El LCF no es más que la distancia promedio de "x" del área total del plano de flotación. Recuerde los siguientes enunciados del capítulo 1:

Para encontrar el promedio ponderado de cualquier variable "X", tome la variable que está promediando y multiplíquela por el factor de ponderación para ese valor de "X". Haga esto para todos los valores y luego sume. En cálculo, esto se traduce en lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{El promedio de la variable "x"} &= \int (\text{Un valor de } x) (\text{factor de ponderación}) \\ &\cong \sum (\text{Un valor de } x) (\text{factor de ponderación}) \\ &\cong \sum (\text{Un valor de } x) \left(\frac{\text{Una parte pequeña}}{\text{El total}} \right) \end{aligned}$$

Aplicando esta idea al cálculo de LCF, la variable que se promedia es la distancia "x" y el factor de ponderación es una proporción de áreas. El área pequeña es el diferencial de área del plano de flotación y el denominador es el área de plano de Flotación total. Es posible que tenga que hacer un cálculo por separado para encontrar el área total del Plano de Flotación como se indica en la Sección 2.9.1.

Primero, dibuje un área típica de Plano de flotación con el eje "X-Y" adecuado. Dibuje una unidad de área diferencial típica en este diagrama y nombre la base y la altura de este rectángulo.



Escriba la ecuación promedio ponderada como se mencionó anteriormente. Se requiere el "2" ya que está utilizando medias mangas.

Escribe la ecuación de Simpson generalizada basada en tu ecuación de cálculo.

Note que "dx" se convierte en "Δx" y es igual a la distancia entre estaciones. "x₀" es la distancia desde el punto de referencia hasta la estación 0. "x₁" es la distancia



ESTABILIDAD Y ESTIBA

desde el punto de referencia hasta la estación 1, y así sucesivamente. El plano de referencia es el Perpendicular de proa o el de la cuaderna maestra. Recuerde, que cuando se use la cuaderna maestra como referencia, debe asegurarse de incluir un signo negativo para las distancias a popa de ella.

En un problema real, el siguiente paso sería sustituir cada número en la ecuación generalizada y calcular la respuesta final.

A veces uno como estudiante se siente más cómodo haciendo tablas que estos cálculos. Ayuda a organizar su trabajo y facilita la programación en una hoja de cálculo. El siguiente ejemplo muestra cómo construir una tabla de este tipo y utilizarla como una ayuda en el cálculo de LCF.

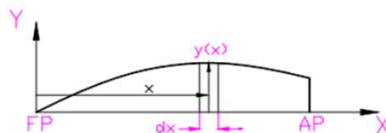
Ejemplo 2.6 A continuación se entrega la tabla de datos para la línea de agua el calado de 4,88 m de un Buque particular con cinco estaciones. La longitud entre perpendiculares es 99.5 m. El área del plano de flotación (WP) para este calado es de 977,62 m². Calcular el LCF para la línea de flotación de 4,88 m.

Área del Plano de flotación de los 4,88 m

Estación	0	1	2	3	4
Media manga (m)	0,12 m	39,4 m	6,40 m	6,62 m	4,75 m

Solución:

Figura y elementos diferenciales:



Ecuación de cálculo:

$$LCF = \int_{\text{Área}} x \frac{dA}{A_{WP}} = 2 \int_0^{L_{PP}} x \frac{y(x) dx}{A_{WP}}$$

$$LCF = \frac{2}{A_{WP}} \int_0^{L_{PP}} x \times y(x) dx$$

Ecuación de Simpson:

$$LCF = \frac{2}{A_{WP}} \frac{1}{3} \Delta x [(1)(x_0)(y_0) + (4)(x_1)(y_1) + (2)(x_2)(y_2) + (4)(x_3)(y_3) + 1(x_4)(y_4)]$$

Cálculo del espacio entre estaciones:

$$\Delta x = \frac{L_{PP}}{n-1} = \frac{99.5 \text{ m}}{4} = 24,88 \text{ m}$$

Donde n = número de estaciones



ESTABILIDAD Y ESTIBA

Sustituyendo y generando respuesta numérica:

Línea de flotación de 4,88 m

Estación	Media manga $y(x)$ (m)	Distancia desde L_{PR} x (m)	Momento $x \times y(x)$ (m ²)	Multiplicador de Simpson	Producto del multiplicador por el momento (m ²)
0	0,12	24,9(0) =0	0	1	0
1	3,94	24,9(1) =24,9	98,11	4	392,44
2	6,40	24,9(2) =49,8	318,72	2	637,44
3	6,62	24,9(3) =74,7	494,51	4	1.978,04
4	3,83	24,9(4) =98,8	378,40	1	378,40
					<i>Suma = 3.386,32 m²</i>

$$LCF = \frac{2}{977,62m^2} \times \frac{1}{3} \times 24,88m \times [3,386,32 m^2]$$

$$LCF = 57,45 \text{ metros a popa de la perpendicular de proa}$$

LCF normalmente se expresa desde la Cuaderna maestra. En este caso sería...

$$LCF = \frac{L_{PP}}{2} - 57,45 m$$

$$LCF = \frac{99.5 m}{2} - 57,45 m = -7,7 m$$

El signo menos indica que el LCF está a popa de la cuaderna maestra. Su respuesta para este caso debiera ser:

LCF está a 7,7 metros a popa de la cuaderna maestra.



ESTABILIDAD Y ESTIBA

2.9.5 Centroide: Centro Vertical de Boyantéz (B)

El centro de flotabilidad (B) es el centroide del volumen submarino de un buque (obra viva). La ubicación vertical del centro de flotabilidad sobre la quilla se expresa como KB, y se obtiene dividiendo el primer momento del volumen bajo el agua alrededor de la quilla por el volumen total bajo el agua.

$$KB = \frac{\int z A_{WP}(z) dz}{\nabla}$$

Donde: z Altura del plano de flotación sobre la quilla (m o Pie)
 A_{WP} Área del plano de flotación de cada línea de agua (m^2 o pie^2)
 dz Es el valor del intervalo entre líneas de agua (m o pie)
 ∇ Es el volumen sumergido del casco (m^3 o pie^3)

Numéricamente, los productos $z A_{WP}(z)$ se integran utilizando la 1ra Regla de Simpson. El siguiente ejemplo ilustra este procedimiento de cálculo. El volumen sumergido utilizado fue el calculado en la sección 2.9.3.

Calado, z (m)	$A_{WP}(z)$ (m^2)	$z A_{WP}$ (m^3)
0	38,58	0
1,22	132,2	161,28
2,44	214,61	523,65
3,66	267,28	978,24
4,88	277,60	1.354,69

$$\int z A_{WP}(z) dz = \left(\frac{1}{3}\right) (1,22) [0 + 4(161,28) + 2(523,65) + 4(978,24) + 1.354,69]$$

$$\int z A_{WP}(z) dz = 2.830,44 m^4$$

$$KB = \frac{\int z A_{WP}(z) dz}{\nabla} = \frac{2.830,44 m^4}{946,32 m^3}$$

$$KB = 2,99 m \approx 3m$$



ESTABILIDAD Y ESTIBA

2.9.6 Centroide: Centro Longitudinal de Boyantéz (LCB) (Opcional)

La ubicación longitudinal del Centro de Boyantéz respecto al plano de referencia longitudinal se expresa como LCB y se encuentra dividiendo el primer momento del volumen sumergido desde la perpendicular de proa por el volumen sumergido total.

$$LCB = \frac{\int x A_{sección}(x) dx}{\nabla}$$

donde: x es la distancia medida desde la sección a popa de la perpendicular de proa (m ó ft)

$A_{sección}(x)$ es el área seccional en cada estación (m² ó ft²)

dx es el intervalo entre cada estación (m ó ft)

∇ es el volumen bajo el agua (m³ ó ft³)

Los productos $x A_s(x)$ se integrarán numéricamente utilizando la 1ª regla de Simpson. El volumen sumergido corresponde al calado de interés y se ha calculado previamente en el apartado 2.9.3.

Espaciado entre cuadernas (estaciones o secciones) 10,7 (m)

Estación	A_s (m ²)	x (m)	$x A_s$ (m ³)
0	1,17	0,0	0,00
1	22,55	10,7	240,54
2	30,84	21,3	658,08
3	26,06	32,0	834,00
4	8,55	42,7	364,72

$$1^{er} \text{ mto. de vol.} = \frac{1}{3} (10,7m) [0 + 4(240,54) + 2(658,08) + 4(834,00) + (364,73)] (m^3)$$

$$1^{er} \text{ mto. de vol.} = 21.261,49 (m^4)$$

$$LCB = \frac{\int x A_{sección}(x) dx}{\nabla} = \frac{21.261,49 (m^4)}{945,3 (m^3)}$$

LCB 22,49 m a popa de la perpendicular de proa

En este ejemplo LPP es de 42,67 (m); por lo que LCB está a 22,5 (m) a popa de la perpendicular de proa. Muchos buques tienen sus LCB y LCF a popa de la cuaderna maestra debido a sus proas son ahusadas para disminuir la resistencia al avance.

2.9.7 Segundo Momento de área transversal de un plano de flotación (Opcional)

El segundo momento transversal del área de un plano de flotación respecto de la línea de crujía (I_T) es útil para determinar si un buque permanecerá adrizado o escorado hacia una banda y para estimar la posición vertical del metacentro transversal respecto de la quilla.

El enfoque adoptado es dividir el plano de flotación (en realidad, la mitad del plano de agua) en pequeños rectángulos. La altura de un rectángulo es la mitad de la manga $y(x)$ y el espaciado entre estaciones, dx . El segundo momento de área de cada rectángulo se suma y da como resultado el segundo momento de área de todo el plano de agua.



ESTABILIDAD Y ESTIBA

El segundo momento del área de un rectángulo se obtiene a partir de la integral general $\int y^2 dA$. El segundo momento del área de un rectángulo alrededor de su propio centro es $(1/12) y^3 dx$. Para realizar la sumatoria deseada, el segundo momento de área de todos los rectángulos debe estar referenciado al mismo eje. Se utiliza el teorema del eje paralelo para calcular el segundo momento del área de una forma alrededor de un eje paralelo a su eje central. Matemáticamente, el teorema establece lo siguiente:

$$I_d = I_c + Ad^2$$

donde: I_d es el segundo momento del área de la forma alrededor de un eje (el eje deseado) diferente del eje central (m^4 ó ft^4)
 I_c es el segundo momento del área de la forma con respecto al eje central (m^4 ó ft^4)
 A es el área de la forma (m^2 ó ft^2)
 d es la distancia entre el eje central y el eje deseado (m ó ft)

La figura 2.15 proporciona un ejemplo de estas cantidades.

Observe que el segundo momento del área de una forma es siempre menor cuando se calcula respecto del eje central.

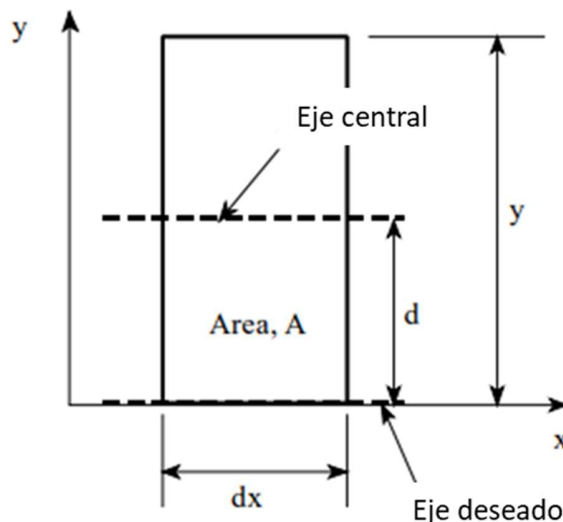


Figura 2.15 Diagrama del teorema del eje paralelo

Aplicando el teorema del eje paralelo al rectángulo considerado se obtiene lo siguiente:

$$I_{Eje\ central} = \left(\frac{1}{12}\right)y^3 + (ydx)\left(\frac{y}{2}\right)^2 = \left(\frac{1}{3}\right)y^3 dx$$

Con esto se obtiene que la integral del segundo momento transversal del área del plano de agua sea:

$$I_T = 2 \int \frac{y^3}{3} dx = \frac{2}{3} \int y^3 dx$$



ESTABILIDAD Y ESTIBA

Para evaluar esta integral numéricamente, se integrará el cubo de cada media manga y el resultado se multiplicará por $(2/3)$.

Distancia entre estaciones 24,87 (m)

Estación	Media manga (m)	(media manga) ³ (m ³)
0	0,119	0,002
1	3,938	61,071
2	6,392	261,120
3	6,617	289,751
4	3,834	56,375

$$I_T = \left(\frac{2}{3}\right) \left[\left(\frac{1}{3} \times 24,87 \text{ (m)}\right) (0,01 + 4(61,071) + 2(261,120) + 4(289,751) + (56,375)(m^3)) \right]$$

$$I_T = 10.954,05m^4$$

2.9.8 Segundo momento de área longitudinal de un Plano de flotación (Opcional)

El segundo momento longitudinal del área del plano de flotación respecto de LCF se usa para resolver problemas de cambios de asiento. El cálculo del peso de cada parte del área, y dx por el cuadrado de su distancia desde una referencia, en este caso la sección media del buque. La integración de los productos x^2y dx adiciona los segundos momentos de área de todos los rectángulos diferenciales dando como resultado el segundo momento de área de toda la forma alrededor de la cuaderna maestra del buque.

La integral buscada es $I_L = \int x^2y dx$. Para aplicar la 1ra regla de Simpson, se debe determinar la magnitud de x^2y para cada estación. El algoritmo de Simpson y el espaciado de cada sección o estación se encargan de la integración y de las partes dx de la ecuación.

Distancia entre estaciones 24,87 (m)

Estación	Media manga, y (m)	Distancia desde Sección media x (m) (- a popa sección 1/2)	x^2y (m ³)
0	0,119	49,743	294,137
1	3,938	24,872	2.436,059
2	6,392	0,000	0,000
3	6,617	-24,872	4.093,408
4	3,834	-49,743	9.487,807

$$I_L(\text{desde } \infty) = \int x^2y dx$$

$$I_L(\text{desde } \infty) = (2) \left(\frac{1}{3}\right) (24,87 \text{ (m)}) [294,1 + 4(2.436,1) + 2(0) + 4(4.093,4) + 9.487,8] m^3$$

$$I_L(\text{desde } \infty) = 595.259,057(m^4)$$



ESTABILIDAD Y ESTIBA

Lo que realmente se desea obtener es el segundo momento de área respecto de LCF, por lo que debe utilizarse el teorema de eje paralelo.

$$I_L(\text{respecto de LCF}) = I_L(\text{respecto de } \infty) - A_{\text{plano de agua } \text{ó} \text{ } wp} \times d^2$$

El término $A_{wp} \times d^2$ se sustrae debido a que LCG es el centroide del plano de flotación. A_{wp} es el área del plano de flotación en estudio, previamente calculado en ejemplo 2.3. La distancia entre los dos ejes es d , o la distancia desde la cuaderna maestra al LCF, también calculada previamente.

Sustituyendo los valores anteriores:

$$I_L(LCF) = I_L(\infty) - A_{wp} \times d^2$$

$$I_L(LCF) = 595.259,057(m^4) - 978,61(m^2) \times (-7.7 m)^2$$

$$I_L(LCF) = 537.237,27(m^4)$$

Esto completa la integración necesaria para determinar todas las cantidades graficadas en las curvas de forma. En el próximo capítulo se entregará conocimiento adicional concerniente al uso específico de estas cantidades



ESTABILIDAD Y ESTIBA

2.10. Curvas de Forma

Todas las propiedades geométricas de una nave en función del calado medio se han computado y colocado en un solo gráfico, llamado "curvas de forma". Cada nave tiene curvas de forma únicas. También hay tablas con la misma información que se denominan curvas tabulares de forma.

Es difícil ajustar todas las diferentes propiedades en una sola hoja porque varían mucho en magnitud. Para ajustar todas las curvas en una sola hoja de papel, se debe hacer una de dos cosas.

- Uno: Proporcionar una serie de escalas diferentes en el eje "x" para que cada propiedad tenga su propia escala del eje "x".
- Dos: Trazar cada característica respecto de una escala común en el eje "x" y usar un factor de escala para acercar las curvas numéricamente.

El uso del segundo método requiere que obtenga el valor de la escala común y luego multiplique ese valor por el factor de conversión de la escala para obtener el valor real. Cada factor de conversión tiene además unidades asociadas con él.

¡No olvide ajustar los valores obtenidos de las curvas con este factor de conversión ni de utilizar las unidades correspondientes!

Las curvas de forma se entregarán de acuerdo a como se vayan necesitando en el desarrollo de este capítulo. Las curvas de forma asumen que el Buque está flotando adrizado y con una quilla uniforme; es decir sin escora ni asiento.

Si el Buque presenta una escora o tiene asiento, deberá usarse el calado medio para ingresar las curvas de forma.

Tenga presente que todas las propiedades en las "curvas de forma" son funciones del calado medio y de la geometría del casco. Cuando se agrega, se quita o se mueve peso de a bordo, la forma del plano de flotación y del volumen sumergido cambiarán de forma y con ello todas las propiedades geométricas también cambiarán.

En la ejecución de cálculos típicos sólo se generan pequeños cambios de calado y por ello las propiedades en las curvas de forma también experimentan sólo cambios pequeños. Esto significa que, para la mayoría de los problemas, no importa si se buscan propiedades utilizando el calado medio inicial, el calado medio final o el calado medio promediado. Numéricamente, todos arrojarán resultados cercanos que no deberían afectar la respuesta final. Si el calado cambia de manera que genera cambios importantes en las propiedades del casco, entonces se debe utilizar un calado promedio obtenido de los calados iniciales y finales al resolver el problema.



ESTABILIDAD Y ESTIBA

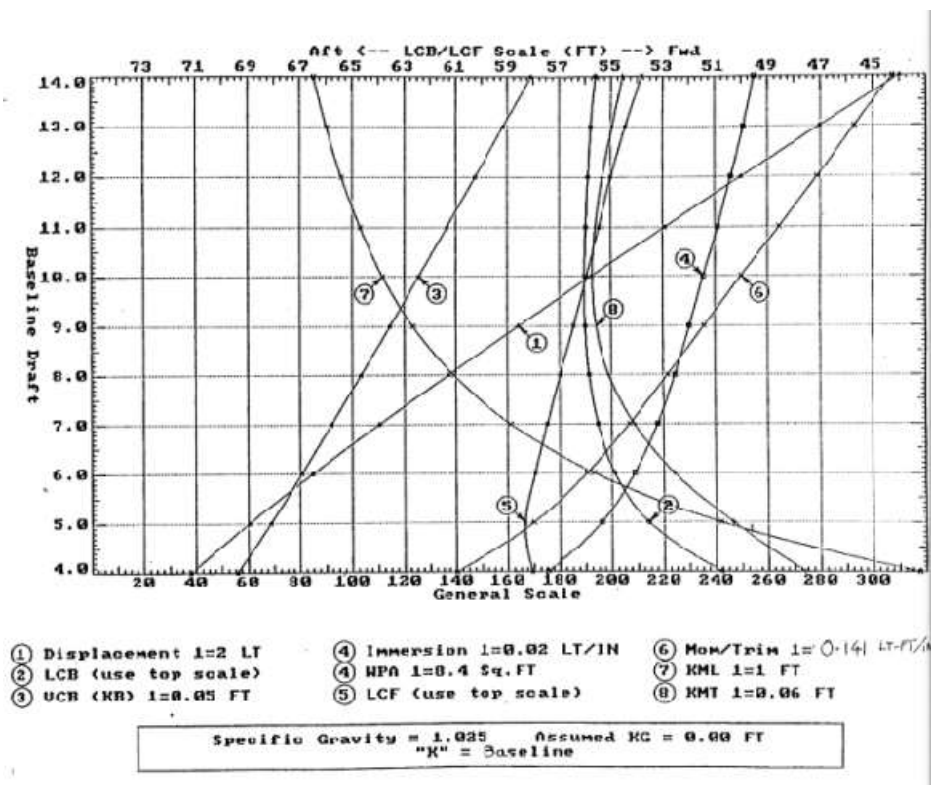
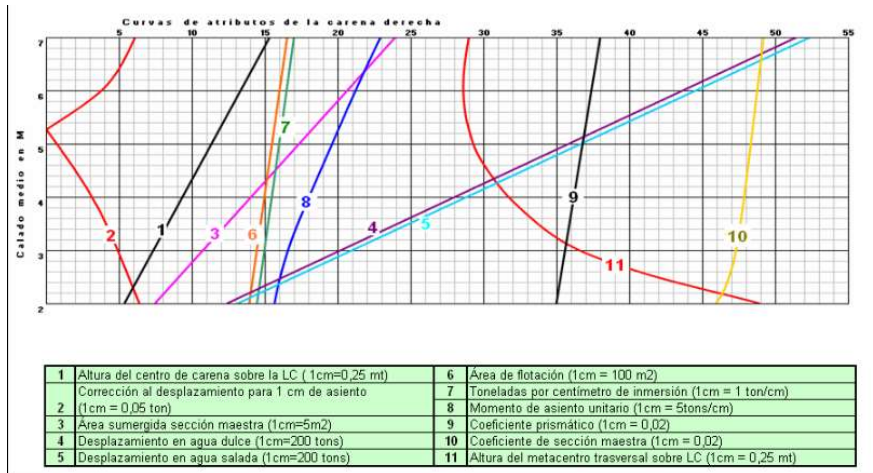


Figura 2.15 Curvas de forma de buques diferentes, el primero es un buque mercante tipo "M" y el segundo corresponde al buque indicado en la figura 2.7b.



ESTABILIDAD Y ESTIBA

La siguiente es una lista de cada característica que se encuentra en las "curvas de forma" con una breve explicación de su significado.

2.10.1 Desplazamiento (Δ)

El desplazamiento es el peso del agua desplazada por el casco de un buque para un calado determinado, asumiendo que el Buque está en agua salada con una densidad de 1.025 kg/m^3 o de $1.99 \text{ lb s}^2/\text{ft}^4$. Para un buque que flota libremente en agua salada, es numéricamente igual al peso del buque. La unidad típica para el desplazamiento es tonelada (T) (Tonne para bibliografía inglesa) y tonelada larga para el sistema gravitacional inglés. Una tonelada larga (LT) equivale 1.016 toneladas métricas y a 2240 lb.

Otras disciplinas de la ciencia usan la palabra tonelada de la siguiente forma:

Una tonelada larga (LT) es igual a 2.240 lb. Una tonelada corta (ST) es igual a 2.000 lb. Una tonelada métrica (Tonne) es igual a 1.000 kg. Cuando se mencionen toneladas sin ninguna aclaración adicional, nos referiremos a 1 tonelada igual a 1.000 kg.

2.10.2 LCB

LCB representa el centro longitudinal de boyantéz y es la distancia en metros o pies desde la posición de referencia longitudinal hasta el centro de boyantéz. La posición de referencia podría ser la perpendicular de proa FP o la cuaderna maestra. Si la referencia es la cuaderna maestra, recuerde que las distancias a popa dicha cuaderna son negativas.

2.10.3 VCB

VCB representa el centro vertical de boyantéz, que es la distancia en pies desde el plano base o quilla, al centro de boyantéz. A veces esta distancia se etiqueta KB con una barra sobre las letras.

2.10.4 Inmersión o TCI o TPI

TCI significa toneladas por centímetro de inmersión y TPI toneladas por pulgada de inmersión. A veces se les llama simplemente inmersión. Ambos se definen respectivamente como las toneladas requeridas para incrementar en forma pareja el calado en 1 cm o en 1 pulgada en agua salada. El hundimiento paralelo se produce cuando el buque cambia el calado de proa y el de popa en la misma cantidad sin producir cambios de asiento.

Para obtener un hundimiento paralelo, el peso agregado debe ser "efectivamente" agregado al centro de flotación debido a que el centro de flotación es el punto pivote de la nave mientras está flotando.

Las unidades de TCI son toneladas por centímetro y las de TPI son toneladas largas por pulgada. Si se quita elimina un peso equivalente desde sobre o bajo el centro de flotación, el calado disminuirá en 1 centímetro o en 1 pulgada en forma pareja. Este concepto se utilizará en el próximo capítulo para la resolución de problemas de cambios de asiento.



ESTABILIDAD Y ESTIBA

Las ecuaciones aproximadas para calcular el TCI y el TPI, basadas en el área del plano de flotación son las siguientes:

$$TCI = \frac{A_{WP}(m^2)}{97,56} \times \text{densidad del agua} \left(\frac{T}{m^3} \right)$$

$$TCI_{sw} = \frac{A_{WP}(m^2)}{97,56} ; TCI_{fw} = \frac{A_{WP}(m^2)}{100}$$

Normalmente:

A_{WP} o Área plano flotación en m^2 (unidades de superficie)

Densidad (ρ) en $\frac{ton}{m^3}$ (masa/volumen)

sw para agua salada (sea wáter) y fw para agua dulce (Fresh water)

$$TPI_{sw} = \frac{A_{WP}(pie^2)}{420} \left(\frac{LT}{Pulg} \right)$$

Nota 1: Se ha utilizado la ecuación de Arquímedes para convertir el peso en producto del volumen, densidad y la magnitud de la aceleración de la gravedad.

Nota 2: La densidad para TCI (TPI) de un buque flotando en agua salada a 15°C (59 ° F), será de un valor de 1.025 km^3 (1,99 slug/ pie^3 o 1.99 $lb\ s^2/pie^4$).

Nota 3: La solución asume que el área del plano de agua prácticamente no cambia, por lo que volumen requerido para el incremento de calado en un centímetro o en una pulgada será aproximadamente el producto del área del plano de flotación por el grosor de 1 cm o de 1 pulg. Esto es lo mismo que asumir que el volumen es un prisma recto con el plano de agua como la sección transversal y de una altura de un centímetro o de una pulgada.

2.10.5 WPA o A_{wp}

WPA o A_{wp} representa el área del plano de flotación. Las unidades de WPA son m^2 o pie^2 . Esta es la misma área del plano de agua que se calculó con la regla de Simpson en la Sección 2.9.1.

2.10.6 LCF

LCF es el centro longitudinal de flotación, que es la distancia desde la referencia longitudinal hasta el centro de flotación. La posición de referencia podría ser la perpendicular de proa (FP) o la cuaderna maestra. Si se la cuaderna maestra, recuerde que las distancias a popa de las naves son negativas. En la Sección 2.9.4 se mostró cómo calcular el LCF usando una tabla de datos y la regla de Simpson.



ESTABILIDAD Y ESTIBA

2.10.7 Momento para cambiar el asiento en 1 cm o en 1 pulgada (MCA 1cm o MT1")

Representa el momento para cambiar recortar un centímetro o en una pulgada. Las unidades son T m por centímetro o LT ft por pulgada. Cuando se le aplique un momento el buque cambiará su asiento girando sobre su pivote o centro de flotación. El momento se puede producir agregando, quitando o cambiando un peso una distancia específica desde el centro de flotación. Hay un número infinito de combinaciones posibles de pesos y distancias para lograr un momento dado.

El cambio de asiento se define como el calado de popa menos el calado de proa. Por convención, cuando un Buque está encabuzado se le asigna un signo negativo al cambio de asiento.

Para calcular el cambio de asiento generado por un cambio de peso, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\delta_{asiento} = \frac{w \times l}{MTC \text{ o } MTI}$$

Donde: $\delta_{asiento}$ Es el cambio de asiento en cm o pulg
 w Peso agregado, quitado o movido (T o LT)
 l Distancia que se movió, agregó o quitó el peso desde F (m o pie)
 $MTC \text{ o } MTI$ Momento para cambiar de asiento obtenido de las curvas de forma (Tm/cm o LTpie/pulg)

2.10.8 KM_L

KML representa la distancia desde la quilla al metacentro longitudinal. Por ahora, solo asuma que el metacentro es un punto de referencia conveniente que se encuentra verticalmente sobre la quilla del buque y se utiliza para los cálculos de estabilidad. Esta distancia es del orden de 30 a 300 metros, mientras que la distancia desde la quilla al metacentro transversal es del orden de 3 a diez a 10 metros.

2.10.9 KM_T

KMT representa la distancia vertical desde la quilla al metacentro transversal. Normalmente no se utiliza el subíndice "T" en el análisis transversal porque se supone que cuando no hay subíndices presentes, nos referimos a la dirección transversal.

Ha realizado los cálculos para al menos dos de las propiedades enumeradas en las curvas de forma. Esto debería haberle dado una apreciación de cómo se construyen las curvas de forma. Con un poco más tiempo y práctica, puede utilizar una tabla de datos o de datos e integración numérica para obtener el resto de las propiedades. Todos estos cálculos ya fueron realizados por lo que solo hay buscar estos valores.

Asegúrese de que, dadas las curvas de forma de un buque y su calado medio, puede encontrar cualquiera de las propiedades enumeradas anteriormente. Necesitará esta habilidad para obtener los valores para los cálculos que se seguirán en los capítulos siguientes.



ESTABILIDAD Y ESTIBA PROBLEMAS - CAPÍTULO 2

Sección 2.2 Tipos de buques:

1. Un lancha de 40 T de desplazamiento tiene un volumen sumergido de 25 m^3 cuando se desplaza a 20 nudos en agua de mar. ($\rho = 1.025 \text{ T/m}^3$)
 - a. Calcule la magnitud del soporte hidrostático que experimenta la embarcación.
 - b. ¿Qué otro tipo de soporte está experimentando el Buque?
 - c. Calcule la magnitud de este otro tipo de soporte.
 - d. ¿Qué pasará con el volumen sumergido de la embarcación si se reduce a 5 nudos?
 - e. Explique su respuesta.
2. Desciba cómo se sustentan en el agua los hovercraft y los buques de efecto de superficie cuando se mueven a través del agua.
3. SWATH
 - a. ¿Qué significa el acrónimo SWATH?
 - b. ¿Cómo se sustenta en el agua un casco tipo SWATH cuando está operando?
 - c. ¿Qué ventajas tiene un diseño SWATH?

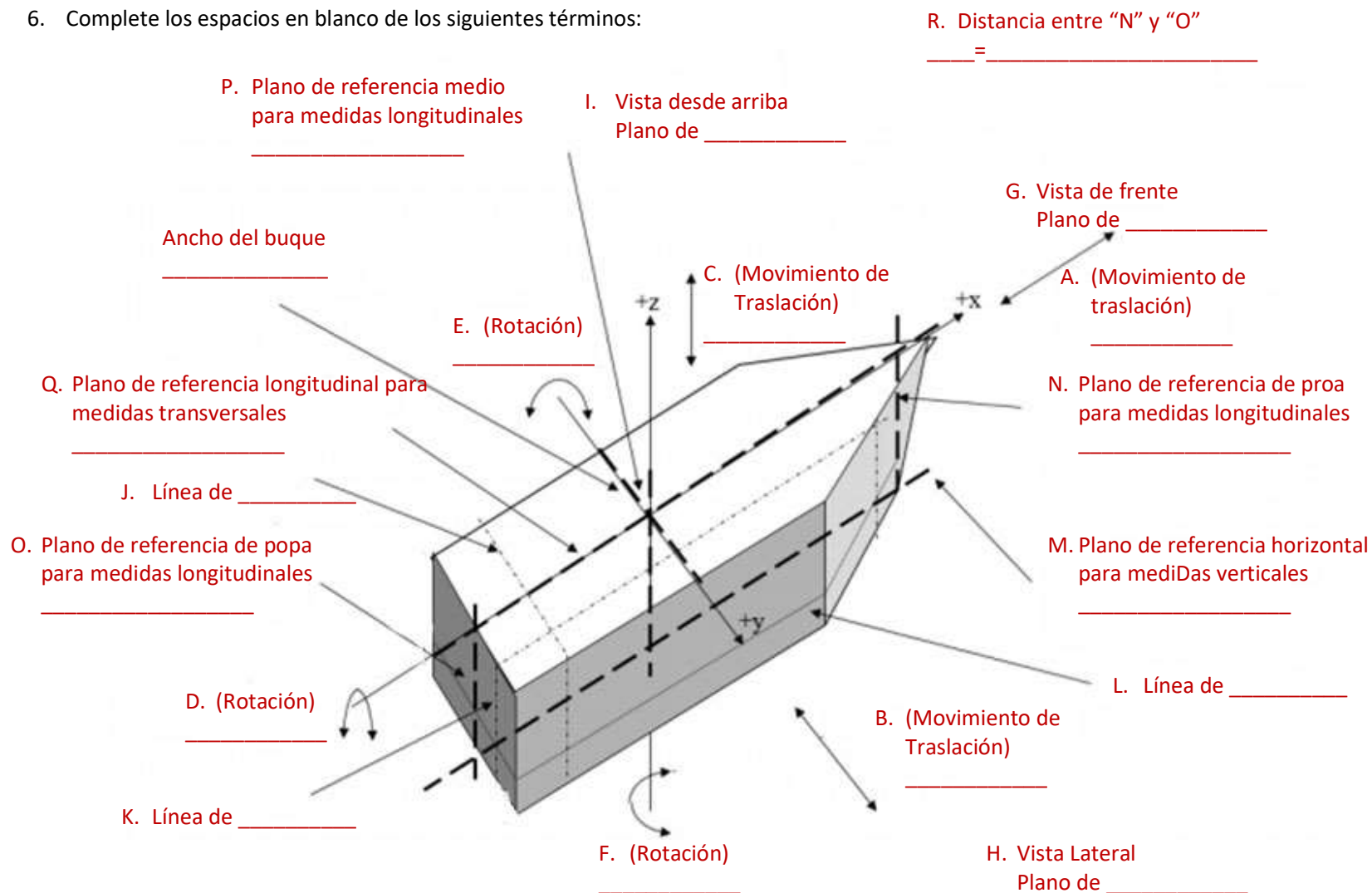
Sección 2.3 a la 2.5 Planos de buques:

4. Dibuje el perfil de un buque y muestre lo siguiente:
 - a. Perpendicular de proa.
 - b. Perpendicular de popa.
 - c. Secciones, asumiendo que el Buque tiene estaciones numeradas desde la 0 a la 10.
 - d. Eslora entre perpendiculares.
 - e. Eslora total.
 - f. Línea de flotación de diseño.
 - g. Cuaderna maestra.
5. Dibuje una sección de un buque y muestre lo siguiente:
 - a. Quilla
 - b. Puntal
 - c. Calado
 - d. Manga
 - e. Francobordo.



ESTABILIDAD Y ESTIBA

6. Complete los espacios en blanco de los siguientes términos:





ESTABILIDAD Y ESTIBA

7. Para responder esta pregunta, utilice un gráfico del tamaño de una hoja completa para cada dibujo. Escoja una escala adecuada para lograr la mejor representación de las líneas del buque. Utilice la tabla de offset (tabla de datos) que se entrega a continuación y que corresponde a una fragata tipo “ADELAIDA”.
- Para las estaciones 0 a la 10 dibuje el plano de secciones (o plano del cuerpo del casco) hasta la cubierta principal. Omita las estaciones 0,5; 2,5 y 7,5.
 - Dibuje el plano de medias mangas mostrando las líneas de agua a los calados de 1,22 m, 3,66 m, y 7,32 m
 - Dibuje el perfil de la nave (Plano de vista lateral).

Medias mangas en metros desde la línea de crujía $L_{PP} = 125$ m Línea de agua de diseño (DWL) = 4,88 m

Número de Estaciones

Línea de agua sobre línea base. (m)	-0,5	0 (FP)	0,5	1	2	2,5	3	4	5	6	7	7,5	8	9	10 (AP)	Área Plano Flotación (m²)
7,32	0,0	0,63	1,88	3,03	4,90	5,62	6,17	6,82	7,07	7,11	7,00	6,88	6,71	6,06	4,90	1.441,22
4,88 (DLW)		0,10	1,12	2,11	3,94	4,73	5,41	6,40	6,89	6,93	6,63	6,35	5,97	5,10	3,80	1.284,48
3,66				1,76	3,54	4,29	4,97	6,07	6,67	6,64	6,17	5,81	5,35	4,01		1.140,22
2,44				1,47	3,10	3,78	4,40	5,49	6,08	5,86	4,95	4,30	3,39			855,98
1,22				1,10	2,33	2,82	3,28	4,07	4,41	3,92	2,66					550,92
0 (Quilla)				0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21						29,21

Área de sección a DWL (m²)		0,88				33,25			51,68			31,04			3,09	
----------------------------	--	------	--	--	--	-------	--	--	-------	--	--	-------	--	--	------	--



ESTABILIDAD Y ESTIBA

Línea de agua sobre línea base. (m)	-0,5	0 (FP)	0,5	1	2	2,5	3	4	5	6	7	7,5	8	9	10 (AP)
Media manga en borde de la cubierta (m)	0,00	2,94		4,88	6,37		6,93	7,10	7,17	7,16	7,13		7,04	6,46	5,33

Altura de la cubierta sobre la línea base (m)	12,5	12,06	11,64	11,20	10,54	10,24	9,94	9,54	9,22	8,96	8,86	8,89	8,91	9,11	9,40
---	------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Altura de la quilla sobre la línea base (m)	12,50	4,37	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,87	1,45	2,83	4,15
---	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



ESTABILIDAD Y ESTIBA

Sección 2.7 Centro de Flotación y Centro de Flotabilidad

8. Una barcaza con forma de caja tiene las siguientes dimensiones: Eslora = 30,5 m, Manga = 12 m y calado de 7,6 m. La barcaza está flotando en un calado de 3 m.
 - a. Dibuje un plano de agua, uno de perfil y una vista frontal de la barcaza. En cada vista, indique lo siguiente: línea de crujía, línea de flotación, cuaderna maestra, centro de boyantéz (B) y centro de flotación (F).
 - b. En sus dibujos, muestre las siguientes distancias: KB, LCF referenciada desde la perpendicular de proa y LCB referenciada desde la cuaderna maestra.
 - c. Basándose en las dimensiones dadas de la barcaza, determine las siguientes dimensiones:
 - i. KB
 - ii. LCF con referencia a la cuaderna maestra.
 - iii. LCB con referencia a la perpendicular de proa.
 - iv. Altura de F sobre la quilla

Sección 2.8 Regla de Simpson

Para cada problema de la Regla de Simpson, muestre todos los pasos de la solución en su trabajo; es decir, el diagrama, elemento diferencial y sus dimensiones, etiquetado, ecuación general de cálculo, ecuación general de Simpson, sustitución numérica y respuesta final)

9. Usando la Regla de Simpson, calcule las áreas de los siguientes objetos:
 - a. Triángulo rectángulo con la longitud de la base de "a" y una altura de longitud "b".
 - b. Semicírculo de radio "r".
 - c. Triángulo equilátero con cada lado de longitud "a".

Sección 2.9 Área del Plano de Flotación

10. La tabla de datos de la FFG "Adelaida" proporciona las áreas de plano de agua calculados para todas las estaciones. Utilizando la data de las estaciones 0, 2.5, 5, 7.5 y 10, calcule el área del plano de agua en el DWL y compare su resultado con el área del plano de flotación entregado en la última columna de la tabla de datos..
11. Utilizando la misma tabla de datos, calcule el área seccional de la estación 3 hasta el DWL.
12. Usando la tabla de datos de la FFG, calcule el área de la estación 6 hasta la línea de flotación de 7,32 metros.
13. Usando las áreas seccionales para las estaciones 0, 2.5, 5, 7.5 y 10, calcule lo siguiente:
 - a. Volumen sumergido de la Fragata Adelaida -7 hasta la línea de flotación de diseño (DLW).
 - b. Desplazamiento en agua salada.
 - c. Desplazamiento en agua dulce.
14. Usando la tabla de datos y las estaciones 0, 2.5, 5, 7.5 y 10, calcule la ubicación del centro longitudinal de flotación (LCF) del DWL usando como referencia a la Cuaderna Maestra.



ESTABILIDAD Y ESTIBA

Sección 2.10 Curvas de Forma.

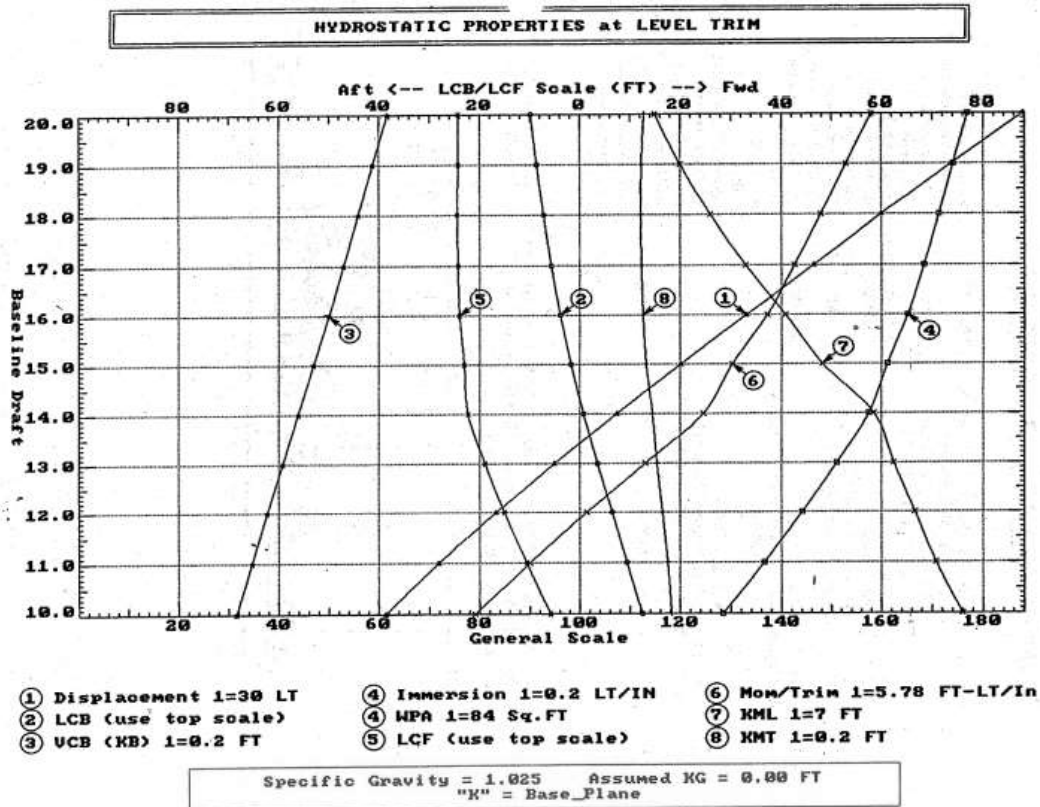


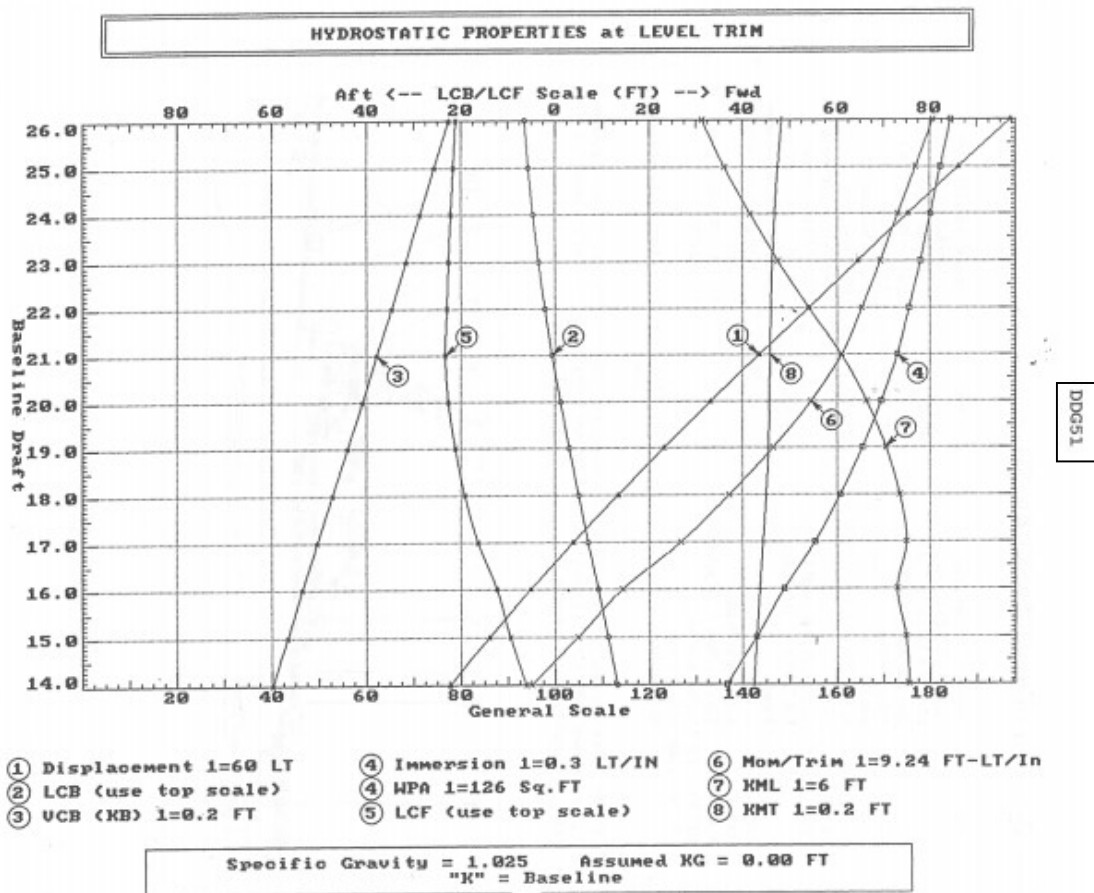
Fig 7

15. Las Curvas de Forma de un buque son una representación gráfica de sus propiedades hidrostáticas. Al calcular las propiedades hidrostáticas de un Buque y crear las Curvas de forma, se hacen dos supuestos. ¿Cuáles son estos 2 supuestos?
16. Un FFG-7 está flotando en una quilla uniforme en un calado de 14 pies. Usando sus Curvas de Forma, encuentra los siguientes parámetros:
 - a. Desplazamiento (d)
 - b. Centro longitudinal de flotación (LCF)
 - c. Centro vertical de flotabilidad (KB)
 - d. Toneladas por pulgada de inmersión (TPI)
 - e. Momento para cambiar asiento en 1 pulgada (MT1 ")
 - f. Volumen sumergido
17. Un FFG-7 está flotando con un calado de proa de 14.9 pies y uno de popa de 15.5 pies. Determine lo siguiente:
 - a. Desplazamiento (Δ)
 - b. Centro longitudinal de flotación (LCF)
 - c. Momento paracambia el asiento en 1 pulgada (MT1 ")



ESTABILIDAD Y ESTIBA

18. El FFG en el problema 15 cambia su calado de 14 pies a 15.5 pies. ¿Cuál es el nuevo valor de TPI? ¿Por qué cambió este valor?
19. Un DDG-51 está flotando con su quilla pareja con un calado de 21.5 pies. Se le incorpora un equipo que pesa 150 LT al destructor.
 - a. ¿En qué posición del buque debe agregarse el peso para que su asiento no varíe?
 - b. ¿Cuál es el cambio en el calado del Buque, en pies, debido a la adición de peso?
 - c. Calcule el calado final después de haberse agregado el peso a bordo.



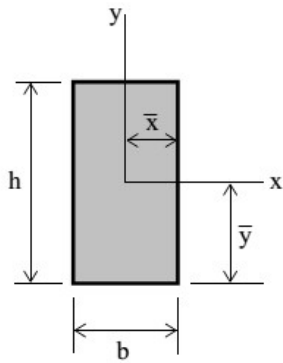
20. Una pieza de maquinaria que pesa 50 LT se mueve desde el centro de flotación a un punto 150 pies a proa de F en un DDG-51 que flota en una quilla pareja y un calado de 21.5 pies, ¿Cuál es el cambio en el asiento que experimenta el destructor por este movimiento de peso?



ESTABILIDAD Y ESTIBA APÉNDICE “A”

PROPIEDADES DE LAS FORMAS GEOMÉTRICAS COMUNES

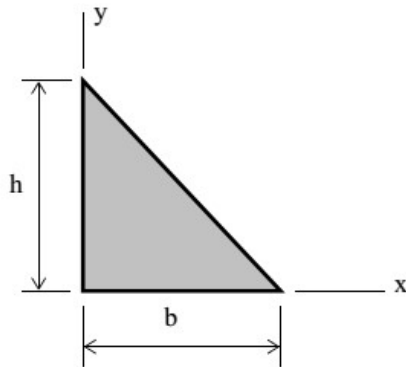
Rectángulo (origen de los ejes en el centroide)



$$A = bh \quad \bar{x} = \frac{b}{2} \quad \bar{y} = \frac{h}{2}$$

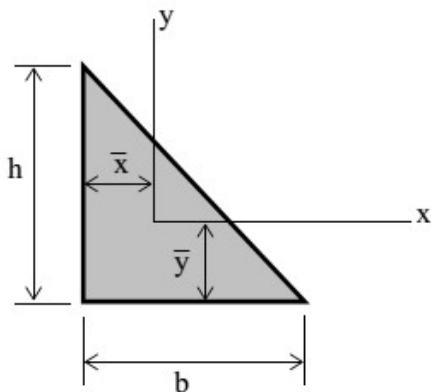
$$I_x = \frac{bh^3}{12} \quad I_y = \frac{hb^3}{12}$$

Triángulo rectángulo (origen de los ejes en el vértice)



$$A = \frac{bh}{2} \quad I_x = \frac{bh^3}{12} \quad I_y = \frac{hb^3}{12}$$

Triángulo rectángulo (origen de los ejes en el centroide)



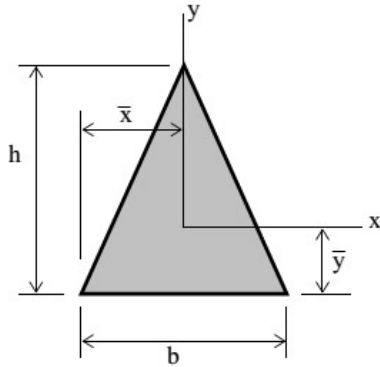
$$\bar{x} = \frac{b}{3} \quad \bar{y} = \frac{h}{3}$$

$$I_x = \frac{bh^3}{36} \quad I_y = \frac{hb^3}{36}$$



ESTABILIDAD Y ESTIBA

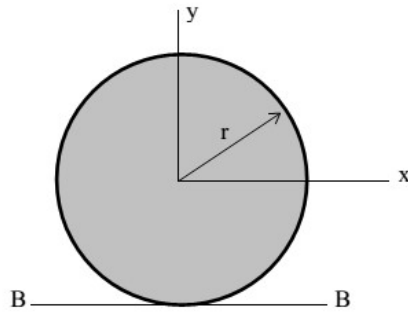
Triángulo Isósceles (origen de los ejes en el centroide)



$$A = \frac{bh}{2} \quad \bar{x} = \frac{b}{2} \quad \bar{y} = \frac{h}{3}$$

$$I_x = \frac{bh^3}{36} \quad I_y = \frac{hb^3}{48}$$

Círculo (origen de los ejes en su centro)



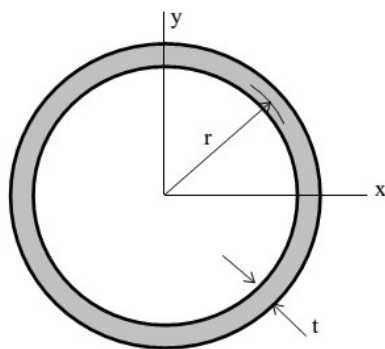
$$d = 2r \quad A = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$I_x = I_y = \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$I_{BB} = \frac{5\pi r^4}{4} = \frac{5\pi d^4}{64}$$

Anillo circular de espesor "t" (origen de los ejes en el centro)

Ecuaciones aproximadas para espesores "t" pequeños



$$A = 2\pi r t = \pi d t$$

$$I_x = I_y = \pi r^3 t = \frac{\pi d^3 t}{8}$$