



ESTABILIDAD Y ESTIBA

# CAPÍTULO 2 - 2 GEOMETRÍA Y FORMA DEL CASCO

## 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 datos
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 Offsets:
  - 11.1. Plano de Línea de Agua (Awp) or (WPA)
  - 11.2. Área de secciones ( $A_{sec}$ )
  - 11.3. Volumen sumergido ( $\nabla$ )
  - 11.4. Centro de Flotación Longitudinal (LCF)
- 2.1 Saber leer y utilizar las curvas de forma para encontrar propiedades hidrostáticas.
- 2.2 Calcular el asiento cuando se conocen los calados y entender su significado físico.



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

### 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 a nosotros nos corresponde utilizar de manera inteligente estos equipos de alto valor, debemos entender cómo por qué se operan de la forma en que se utilizan.

Los buques emplean prácticamente casi todos los sistemas imaginables. Una red de estructuras mantiene al buque en una pieza y protege su contenido y a su tripulación. La maquinaria propulsa al buque y satisface todos los requerimientos de la dotación. Cada necesidad de la dotación debe ser satisfecha: cocinar, alimentación, manejo de la basura, dormir y asearse. El estudio de un buque es estudiar sus sistemas de ingeniería.

Hay muchos tipos diferentes de buques y cada uno tiene sus ventajas y desventajas. Los factores que pueden influir en la decisión del diseñador de una nave incluyen: costos, tamaño, comportamiento marino, huella de radar, calado, maniobrabilidad, estabilidad y otras cualidades especiales. El diseñador debe ponderar muy bien estos factores cuando intenta satisfacer las especificaciones establecidas por su cliente. Muchos buques sacrifican algunas características como bajos costos, por otros como lograr una velocidad más alta.

El estudio de la Ingeniería Naval es la asociación entre el arte y la artesanía de la Construcción Naval con los principios de la física y de las ciencias de la ingeniería para cumplir los requisitos de una embarcación. Abarca la investigación, el desarrollo, el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y el apoyo logístico de los buques.

Este curso introductorio en ingeniería naval está destinado a dar a cada estudiante una apreciación en cada una de las áreas de estudio más comunes. Está pensado como un curso de estudio que brindará un buen conocimiento práctico a cada oficial asignado al servicio naval en tierra, mar o aire.

La construcción y diseño de embarcaciones es una práctica que se remonta a los primeros cavernarios que hacían un hoyo en un tronco de árbol para confeccionar una canoa. El nacimiento de la construcción naval “moderna”; es decir, 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.

### 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.



## **ESTABILIDAD Y ESTIBA**

Una lista de clasificación podría incluir 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 barco cuando con el valor del dinero actualizado en el tiempo.
- Buques navales y Guardacostas: Se clasifican en buques de combate o auxiliares. Estas naves tienden a ser extremadamente caros debido a que sus roles y misiones requieren de muchas capacidades que incluyen velocidad, resistencia, capacidad bélica, para operar y sobrevivir en entornos hostiles y confiabilidad en condiciones de combate.
- Embarcaciones de recreo y placer: Las embarcaciones personales de recreo y los cruceros son una clase especializada de embarcaciones que se utilizan para obtener ganancias al proporcionar servicios de recreación al público en general. El confort y la seguridad son de primera importancia.
- Remolcadores utilitarios: diseñados para un funcionamiento prolongado y fácil mantenimiento con un enfoque sencillo.
- Naves de investigación y medioambientales: se debe mantener equipo altamente especializado y a menudo desplegarse dentro y fuera del agua.
- Ferries: deben cargar y descargar personas y vehículos con eficiencia y seguridad de acuerdo con un programa estricto de tiempo y en cualquier condición climática.

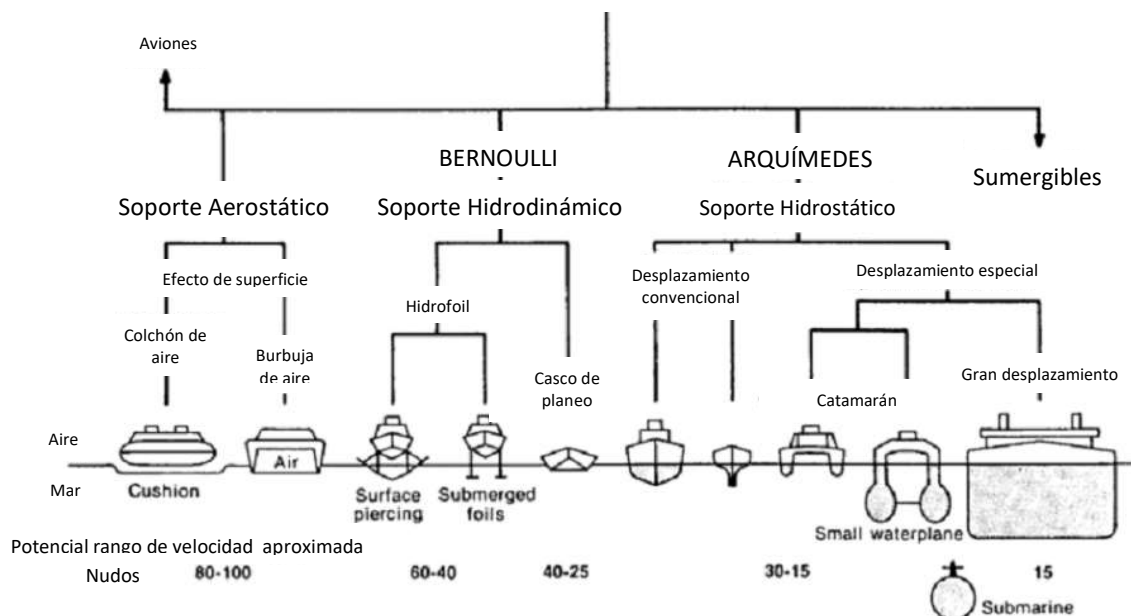
Los barcos también pueden clasificarse por medio de su soporte físico cuando están en operación. En la Figura 2.1, reproducida de “Introducción a la arquitectura naval” de Gillmer y Johnson, se muestran tres clasificaciones generales que los arquitectos navales utilizan con frecuencia.

- Soporte aerostático
- Soporte hidrodinámico
- Soporte hidrostático



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

Artefactos Navales  
(De superficie, efecto de superficie y sub superficie)



**Figura 2.1** Categoría de vehículos acuáticos según su modo de sustentación

### 2.2.1 Soporte aerostático

La sustentación o soporte aerostático se logra cuando un vehículo naval se mueve sobre un colchón de aire generado por ventiladores de aire. Estos vehículos tienden a ser livianos y de alta velocidad. Los dos tipos básicos de este tipo son los soportados por un colchón de aire (ACV – Air Cushion Vessel) y el de efecto de superficie (SES – Surface Effect Ships).

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

Los ACV's u Hovercraft fuerzan aire continuamente hacia abajo a un colchón que está ubicado en la parte baja de la estructura y que escapa por la parte perimetral inferior del colchón a medida que ingresan nuevos volúmenes de aire por los ventiladores en forma continua. La propulsión avante la logran 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 por su habilidad de operar también sobre tierra. Como 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 anfibias y velocidad.

Desventajas: Costo de operación elevado respecto de su capacidad de carga, estabilidad en el control de dirección pobre.



## **ESTABILIDAD Y ESTIBA**

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

Son similares a los ACV 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, proporcionando estabilidad direccional y sustentación hidrostática o hidrodinámica. Normalmente están propulsadas por Waterjets o por hélices súper cavitantes. Pueden alcanzar velocidades hasta de 80 nudos y se han restringido a aguas fluviales.

Ventajas: Requieren menos aire para sustentarse en el agua, son más estables en el control de dirección y tienen más capacidad de carga que los ACV's.

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 hidrofoils.

#### **2.2.2.1 Embarcaciones con casco de planeo**

Las embarcaciones con casco de planeo usan las fuerzas (presiones) hidrodinámicas desarrolladas por el casco a alta velocidad para sustentarse. Son cómodas en aguas calmas, pero frente a oleaje generan aceleraciones muy violentas generando grandes esfuerzos en el casco, superestructura y tripulación. Para minimizar este efecto, el antiguo casco plano fue modificado por una en "V" que es el que se emplea actualmente, y que permitió disminuir los esfuerzos frente a oleaje. Estos factores han limitado el tamaño de las embarcaciones de planeo. No obstante, estas embarcaciones son utilizadas en muchas aplicaciones como embarcaciones de placer, lanchas de patrullaje, lanchas misileras y embarcaciones de carrera. A bajas velocidades las embarcaciones de planeo se comportan como cascos de desplazamiento y se soportan en el agua hidrostáticamente.

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

Desventajas: Requieren motores muy potentes para el tamaño, golpean mucho frente a oleaje moderado/severo y tienen capacidad de carga limitada.

#### **2.2.2.2 Las embarcaciones con hidrofoils**

Logran su sustentación en el agua mediante perfiles hidrodinámicos bajo el agua, equivalentes a alas sumergidas parecidas a la de los aviones. A altas velocidades, estas alas generan sustentación y sacan el casco del agua. Generalmente este efecto de sustentación se explica utilizando los principios de Bernoulli. Comparados con los cascos de planeo, los hydrofoils generan menores aceleraciones verticales en aguas de oleaje moderado haciéndolas comparativamente más confortables; sin embargo, los hidrofoils pueden ser muy inconfortables e incluso peligrosos en mar gruesa debido a que las "alas" pueden salir del agua y golpearse con las olas al igual que el casco. En estas condiciones normalmente no se utilizan los hydrofoils y el casco se comporta como casco de desplazamiento. La necesidad de que los hidrofoils puedan sacar el casco del agua limita el tamaño de los cascos. Debido a ello la capacidad de



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

cargo y tamaño de la tripulación es limitado. El uso de este tipo de embarcaciones también es muy caro comparados con buques de cascos de desplazamiento convencionales. Han dejado de utilizarse debido a los altos costos de adquisición y de mantenimiento.

Ventajas: Son buques rápidos de entre 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 baja capacidad de carga.

### 2.2.3 Los buques con sustentación o soporte hidrostático

Son por lo muy lejos el más común de los tipos de 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 ( $Lbs_{fuerza}$ )

$\rho$  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 ( $32,17 \frac{pie}{s^2}$ )

$\nabla$  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 pequeña que tiene un volumen sumergido de  $20 ft^3$  cuando flota en agua salada. ( $\rho_{\text{agua salada}} = 1,99 \frac{lb-s^2}{ft^4}$ ).

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

$$F_B = 1.280 lb$$



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

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? ( $\rho_{\text{agua dulce}} = 1.94 \frac{\text{lb s}^2}{\text{ft}^4}$  y 1 LT = 2240 lb)

$$F_B = \rho g \nabla$$

$$\nabla = \frac{F_B}{\rho g} = \frac{4000 \text{ LT} \times 2.240 \frac{\text{lb}}{\text{LT}}}{1.94 \frac{\text{lb s}^2}{\text{ft}^4} \times 32.17 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}}$$

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

### 2.2.3.1 Los buques de desplazamiento.

Son aquellos cuyos cascos están sustentados en el agua hidrostáticamente 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, para operación con aeronaves, transporte de personas, pesca y guerra.

Los buques de desplazamiento tienen la ventaja de que, al ser un sistema muy antiguo y común, sus costos y desempeños han sido muy estudiados y existe mucha experiencia en ellos. En comparación con otras alternativas, el costo de adquisición de un buque de desplazamiento es razonablemente económico respecto de la cantidad de carga 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 marino (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 (Small Waterplane Area Twin Hull). 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 marino 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.

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



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

### Submarinos

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

Los submarinos se usan mayoritariamente 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 vida marina bajo el agua, como por ejemplo vehículos no tripulados que se utilizan para propósitos científicos, como los empleados en la búsqueda del Titanic, como asimismo en una amplia gama de investigación oceanográfica.

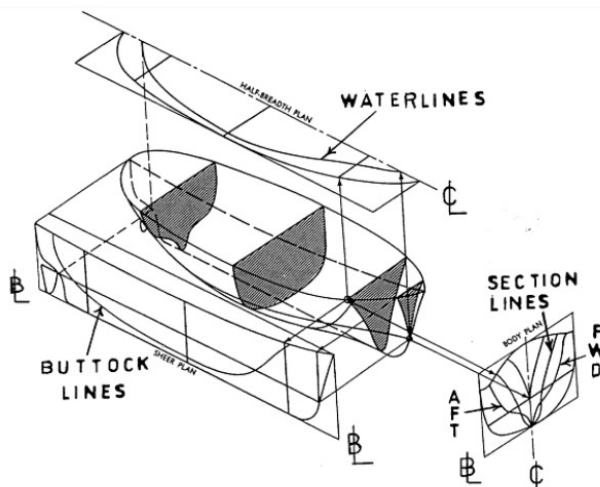
### 2.3. La forma tradicional de representar la forma del casco de un buque:

La forma tridimensional del casco de un buque es complicada. Con algunas excepciones, no es posible escribir una sola ecuación que describa la forma de un buque. Es por ello que los ingenieros han puesto gran 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 ellos no son reemplazos de la imaginación y del juicio.

Tradicionalmente, la forma de 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. Esto da como resultado tres proyecciones o vistas que se denominan “Plano del cuerpo, vista transversal o de secciones”, “Plano de media manga, plano de flotación o vista superior” y “Plano de costado, 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

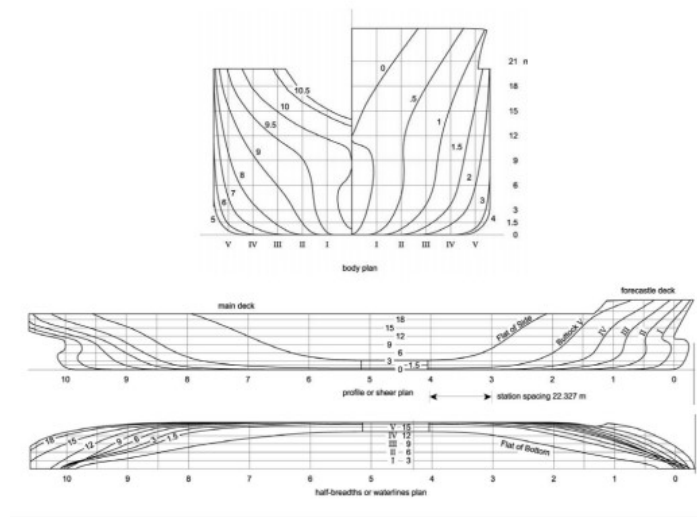
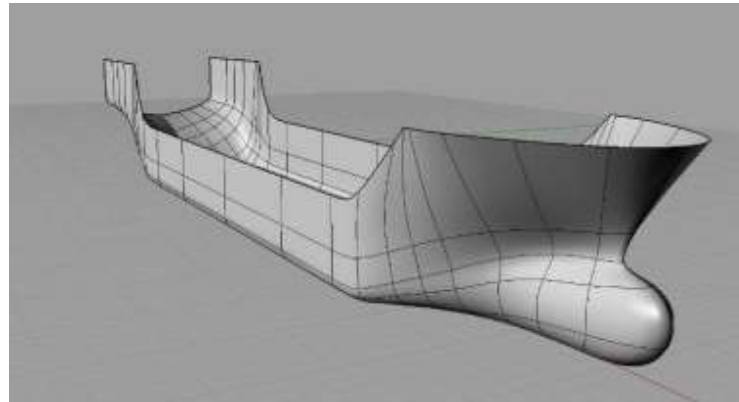






## ESTABILIDAD Y ESTIBA

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

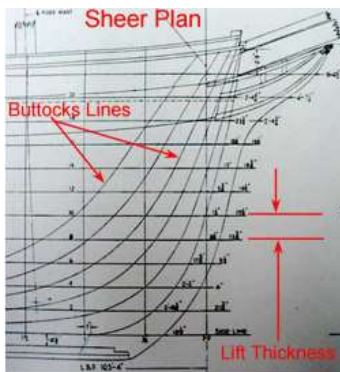


*Representar un cuerpo en 3 dimensiones con tres planos ortogonales es una práctica común en ingeniería. Los Ingenieros deben ser capaces de comunicar una idea gráficamente para que pueda ser construido por un técnico o un mecánico. En términos de ingeniería, este tipo de gráficos mecánicos se conocen con “planos ortogonales” debido a que están formados por tres vistas ortogonales del objeto. Estas proyecciones ortogonales se utilizan en todos los campos de la ingeniería.*

Para visualizar como se usa un plano de líneas, coloque el barco en una caja rectangular imaginaria cuyos lados solo toquen la quilla y los lados del barco. 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 a 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 mostrado a continuación de ella.



## ESTABILIDAD Y ESTIBA



Para determinar las dimensiones de un casco, primero es necesario entender el sistema de referencia y el eje conveniente a utilizar. Las lecturas hacia babor o hacia estribor se realizan respecto de la línea de crujía hacia las líneas base o “buttocks”<sup>1</sup>.

Para medir la ubicación vertical, se determina la distancia desde una línea de base en la quilla del barco. Cada espaciado vertical sobre esta línea de base se llama línea de flotación.

Para medir la distancia longitudinal, los planos convenientes de referencia son la perpendicular de proa (FP), la perpendicular de popa (AP) y la cuaderna maestra ( $\odot$ ). 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.

### 2.3.1 Vista de Planta o Planos de Líneas de agua o de Media Manga:

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 plano base suele estar al nivel de 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 barco y formará una línea 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 2.3 muestra la generación de este plano

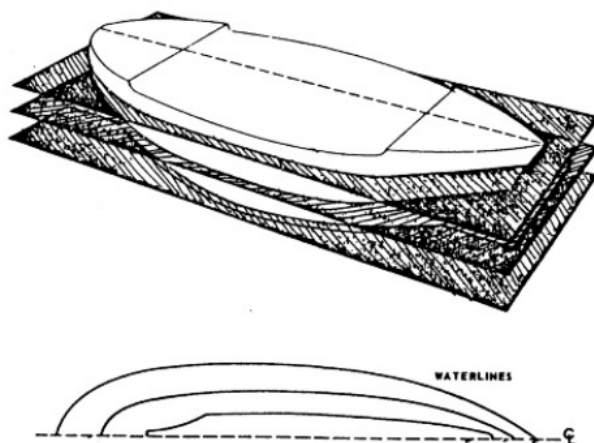


Figura 2.3 El plano de media Manga

<sup>1</sup> “Bow and buttock lines” son líneas que marcan la intercepción del caso del buque con planos verticales paralelos al plano de la línea de centro. Bowlines están relacionadas con la parte delantera del casco en tanto que buttock lines a la parte trasera. Estas líneas son útiles a la hora de realizar el ajuste de cascos y ayudan a visualizar el paso de flujo.

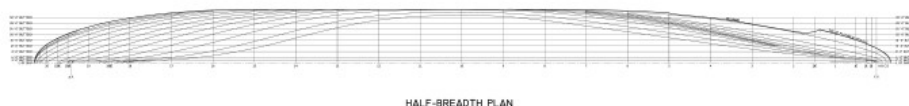


## ESTABILIDAD Y ESTIBA

Cada línea de flotación muestra la forma verdadera del casco desde la 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.

*Las líneas de agua a las que se hace referencia aquí no son necesariamente en las que el buque flota. Estas líneas de agua son la intersección del casco del barco 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 "▽".*

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



### 2.3.2 Planos del perfil, de cortes de costado o de finos:

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

Curvas: líneas de base (medidas a babor y 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.

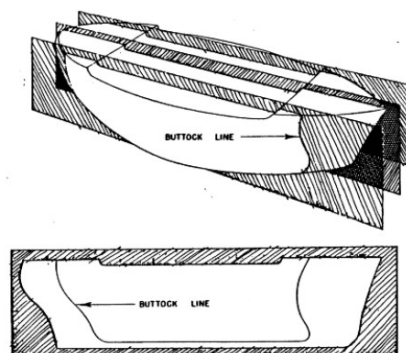


Figura 2.4 Plano Lateral y líneas base

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

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





## ESTABILIDAD Y ESTIBA

*“El plano de finos o de corte reciben su nombre de la idea de una línea que corta a un buque. Esta línea de corte es la curva longitudinal ascendente de la cubierta de un buque. Es la línea que le da una calidad estética agradable al navío”.*

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

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

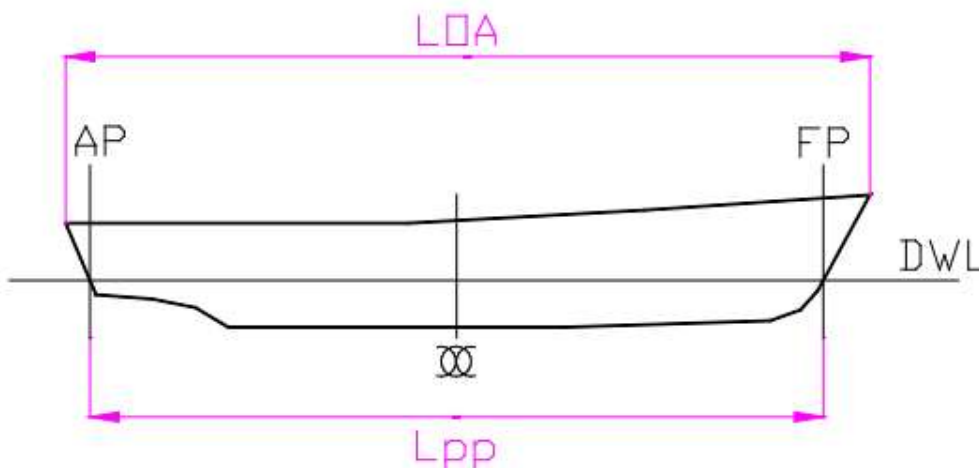
Curvas: Estaciones y líneas de estación (medidas desde la perpendicular de proa FP)

Los planos paralelos a la parte frontal y posterior de la caja imaginaria se denominan estaciones. Un barco 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 intersecar 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 intersecar la popa en el DWL para los buques con popa inclinada o alternativamente en la caña del timón del buque.

La estación media entre las perpendiculares se denomina cuaderna maestra y generalmente se representa por el símbolo ( $\infty$ ). 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. La figura 2.5 muestra estas características del casco.



**Figura 2.5** Nomenclatura de la forma del casco

Cada plano de estación atraviesa el casco 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.



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

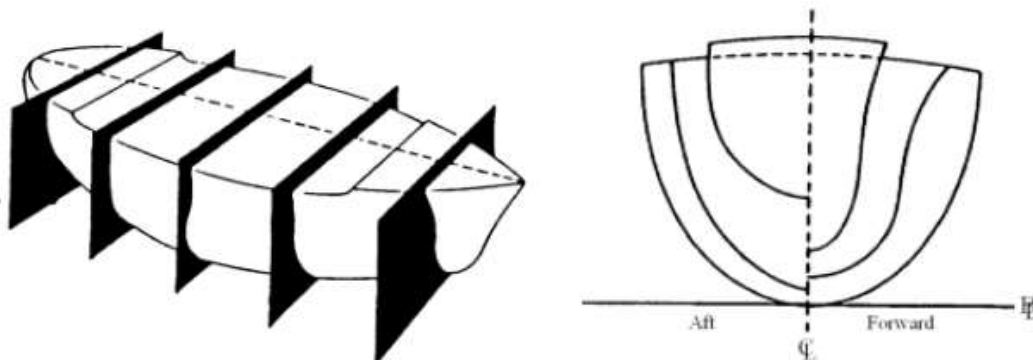


Figura 2.6 Plano Corporal

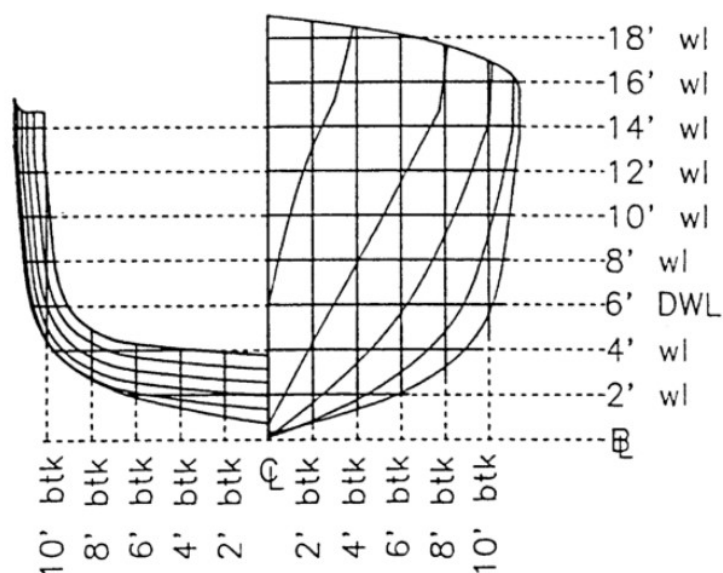


Figura 2.7 Ejemplo del Plano de Cuerpo de un buque



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 barco.



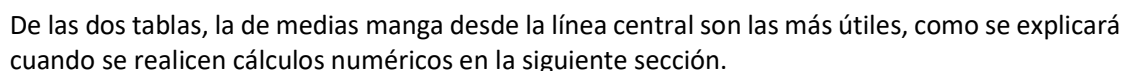
Para calcular las características geométricas del casco utilizando técnicas numéricas, los datos de los dibujos de las líneas se convierten en una tabla de representación numérica convencional llamada tabla de datos.

|                                                              |                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Media Manga desde $\mathcal{C}$                              | Dirección "x" (estaciones a popa de perpendicular de proa)                                      |
| Dirección "z"<br>(Planos de agua verticales sobre la quilla) | Dirección "y"<br>(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"<br>(Líneas de base a Bb o Eb desde $\mathcal{C}$ verticalmente sobre la quilla) | Dirección "y"<br>(Planos de agua verticales sobre la quilla) |

La figura 2.8 muestra las medidas en cada línea y columna de una tabla de datos. Entregan suficiente información para poder dibujar los tres planos de líneas de un buque. Además, se puede usar una tabla de datos 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. Existe otra tabla como la que se muestra a continuación:





## ESTABILIDAD Y ESTIBA

### 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 barco, hay varios otros que son relevantes para una vista del barco desde la proa o la popa.

Como se mencionó anteriormente, la quilla está en la parte inferior de la nave. La quilla en la mayoría de los buques no es plana. 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)

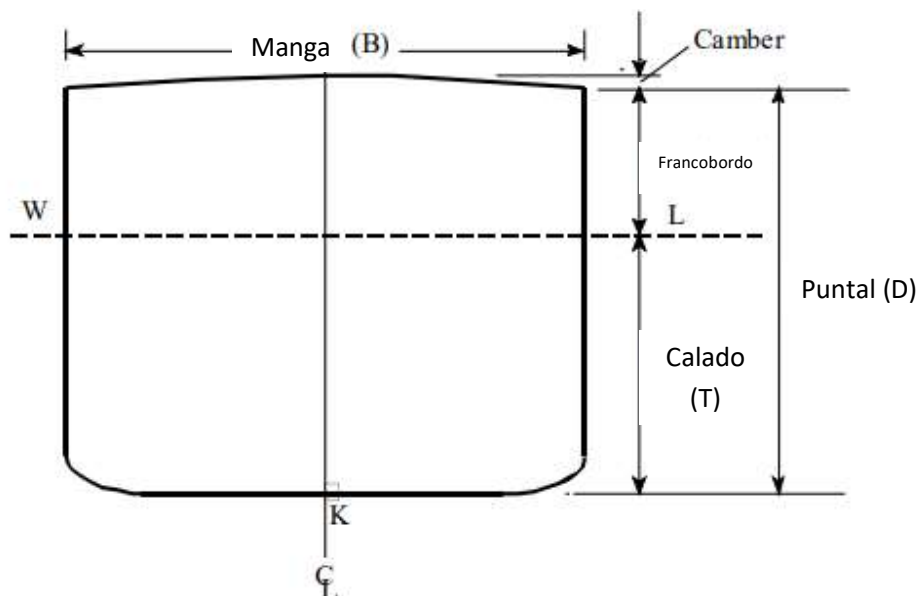
El puntal del casco es la distancia desde la quilla hasta la cubierta. A veces, la cubierta tiene camber o está curvada hacia arriba para facilitar el escurrimiento de agua hacia los costados, por lo que el puntal también se puede definir como la distancia desde la quilla a la cubierta en la intersección de la cubierta y el costado o la "cubierta en el costado". El símbolo utilizado para la 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 barco 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 2.9 muestra las dimensiones de estos términos en una sección típica de una embarcación de un barco.



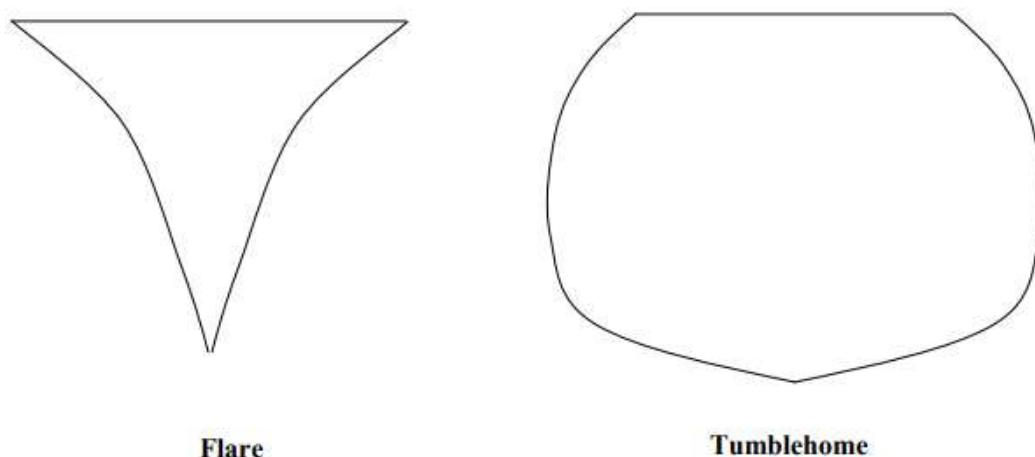
#### 2.5.2 Modelamiento del casco (Flare y Tumblehome)





### ESTABILIDAD Y ESTIBA

Las secciones de proa de un buque tienen proas afinadas (flare). En una proa de arco ensanchado (Tumblehome), las medias mangas aumentan a medida que aumenta la distancia por sobre la quilla. El afinamiento a proa mejora el rendimiento de un barco en olas y aumenta el espacio disponible en la cubierta. El ensanchamiento a proa es lo contrario. Es poco común en las naves de superficie modernas; sin embargo, los yates a vela y los submarinos sí tienen este ensanchamiento. La figura 2.10 muestra ambos tipos de proa.



**Figura 2.10** proas afinadas (Flare) y ensanchadas (Tumblehome)

## 2.6. Características de la forma del casco:

Un centroide se define como el centro geométrico de un cuerpo. Al centro de masa a menudo se denomina centro de gravedad y se define como el lugar donde toda la masa o el peso del cuerpo se representan concentrados en un punto de masa. En condiciones ideales, un objeto podría colocarse y equilibrarse en un alfiler ubicado en el centro de la masa.

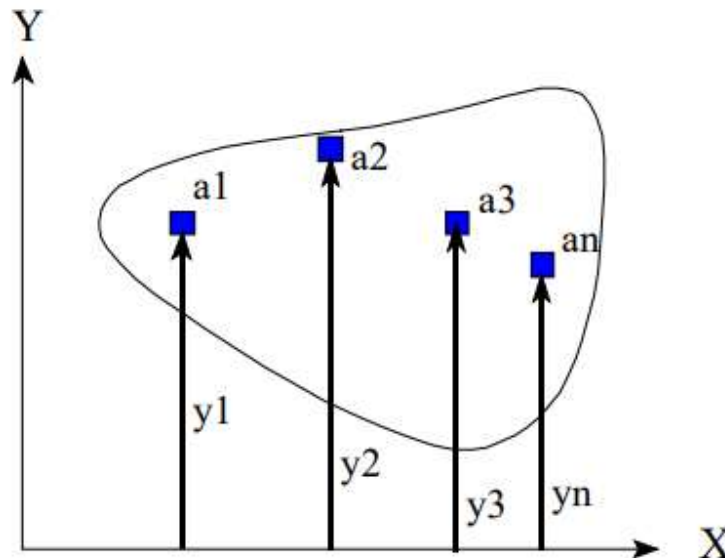
Si el objeto tiene una densidad uniforme; es decir, es homogéneo, entonces el centroide coincidirá con el centro de masa del cuerpo. Del mismo modo, si un objeto es simétrico con respecto a un eje, el centroide y el centro de masa están en ese eje. Por ejemplo, la ubicación transversal del centroide y del centro de masa de un barco se encuentran a menudo en la línea central o 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 2.11 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.





## ESTABILIDAD Y ESTIBA



**Figura 2.11** Cuerpo uniforme bidimensional de forma 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:

$$\sum_{i=1}^n y_i a_i = \sum (y_1 a_1 + y_2 a_2 + y_3 a_3 + \dots + y_n a_n)$$

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.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i a_i}{A_T} = \sum_{i=1}^n y_i \left( \frac{a_i}{A_T} \right)$$

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

*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, considera que el centroide y el centro de masa pueden ser diferentes.



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

### 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 barco 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 central 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 barco 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



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

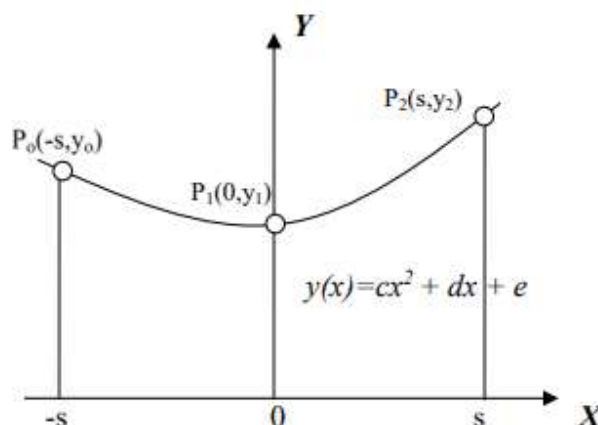
está siempre bajo el plano de agua.

### 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 2.12. La Regla de Simpson asume que los puntos están conectados tres a la vez por un polinomio de segundo orden desconocido.



**Figura 2.12** 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:

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

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

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



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

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

$$\begin{aligned} & \left(\frac{1}{3}\right)(s)(y_0 + 4y_1 + y_2) \\ & + \left(\frac{1}{3}\right)(s)(y_2 + 4y_3 + y_4) \end{aligned}$$

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

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?



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

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

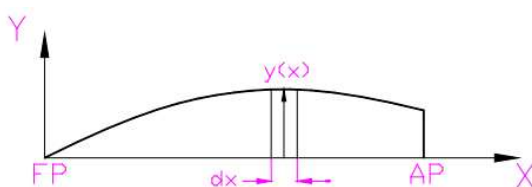
Columna de la Tabla de Datos para trazar una sección →  
Plano de Secciones →  
Área de Secciones (usando Simpson), para cada estación →  
Volumen sumergido (usando Simpson)

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 2.13** 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.



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

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

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 " $\Delta x$ " 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.

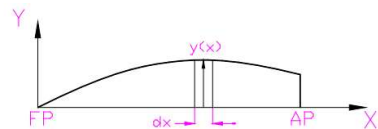
**Ejemplo 2.3** Los datos de Datos que se dan a continuación representan la línea de flotación de 4,88 m de un barco particular con cinco estaciones. La longitud entre perpendiculares es 99,5 m. Calcule el área del plano de flotación para la línea de flotación que se encuentra a 4,88 m sobre la línea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



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

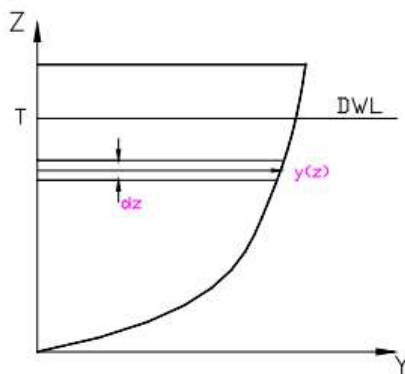
Sustituyendo y generando respuesta numérica:

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

*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.*

### 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 dos media 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 ( $\text{m}^2$  o  $\text{Pie}^2$ )  
 $dA$  Es el diferencial del área de un elemento ( $\text{m}^2$  o  $\text{pie}^2$ )  
 $y(z)$  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

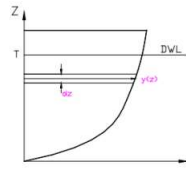
**Ejemplo 2.4** La siguiente tabla entrega los datos de Datos para la estación 5 de un barco particular. Calcule el área de sección de la estación 5, desde la línea de base hasta la línea de flotación que tiene un calado de 4,88 m.

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:

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

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

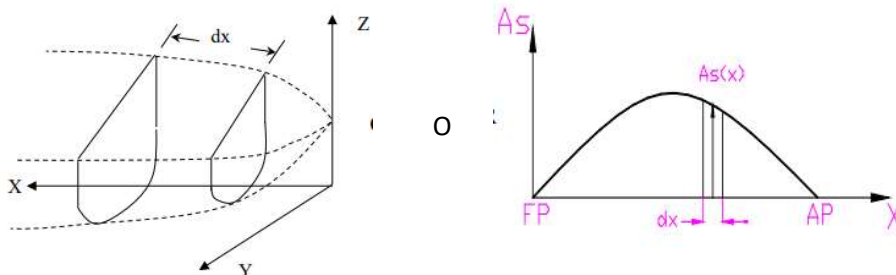




## ESTABILIDAD Y ESTIBA

### 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<sub>P Proa</sub> y AP → L<sub>P Popa</sub>)



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: $\nabla_S$       | Es el volumen sumergido (m <sup>3</sup> o Pie <sup>3</sup> )                             |
| $dV$                    | Es el diferencial del volumen de un elemento (m <sup>3</sup> o pie <sup>3</sup> )        |
| $A_{\text{Sección}(x)}$ | Es el valor seccional del área de cada valor de "x" (m <sup>2</sup> o pie <sup>2</sup> ) |
| $dx$                    | 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

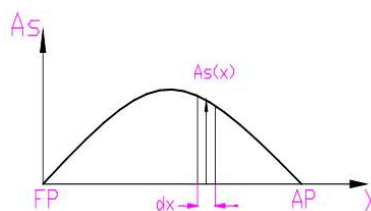
**Ejemplo 2.5** A continuación se entrega las áreas de sección completas para un buque en particular. Calcule el volumen sumergido hasta la línea de flotación de 4,88 m de calado. La distancia entre perpendiculares es de 42,7 m.

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

| Estación                          | 0      | 1       | 2       | 3       | 4      |
|-----------------------------------|--------|---------|---------|---------|--------|
| Área de Sección (m <sup>2</sup> ) | 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:

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

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:

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

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

### 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).*



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

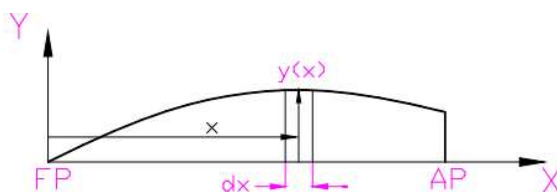
Una de las maneras más fáciles de formular la ecuación de cálculo para la determinación del LCF es usar la idea de promedios ponderados. El LCF no es más que la distancia promedio de "x" del área total del plano de flotación. Recuerde los siguientes enunciados del capítulo 1:

*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 " $\Delta x$ " y es igual a la distancia entre estaciones. " $x_0$ " es la distancia desde el punto de referencia hasta la estación 0. " $x_1$ " es la distancia 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.



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

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.

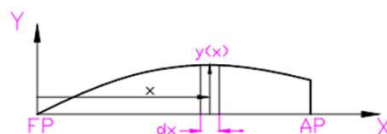
**Ejemplo 2.6** A continuación se entrega la tabla de datos para la línea de agua el calado de 4,88 m de un barco particular con cinco estaciones. La longitud entre perpendiculares es 99.5 m. El área del plano de flotación (WP) para este calado es de 977,62 m<sup>2</sup>. Calcular el LCF para la línea 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<br>$y(x)$<br>(m) | Distancia<br>desde $L_{PR}$<br>$x$<br>(m) | Momento<br>$x \times y(x)$<br>(m <sup>2</sup> ) | Multiplicador<br>de Simpson | Producto del<br>multiplicador<br>por el<br>momento<br>(m <sup>2</sup> ) |
|----------|------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 0        | 0,12                         | 24,9(0) =0                                | 0                                               | 1                           | 0                                                                       |
| 1        | 3,94                         | 24,9(1)<br>=24,9                          | 98,11                                           | 4                           | 392,44                                                                  |
| 2        | 6,40                         | 24,9(2)<br>=49,8                          | 318,72                                          | 2                           | 637,44                                                                  |
| 3        | 6,62                         | 24,9(3)<br>=74,7                          | 494,51                                          | 4                           | 1.978,04                                                                |
| 4        | 3,83                         | 24,9(4)<br>=98,8                          | 378,40                                          | 1                           | 378,40                                                                  |
|          |                              |                                           |                                                 |                             | <i>Suma = 3.386,32 m<sup>2</sup></i>                                    |

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

$LCF = 57,45$  metros a popa de la perpendicular de proa

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

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

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

*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<sup>2</sup> o pie<sup>2</sup>)  
 $dz$  Es el valor del intervalo entre líneas de agua (m o pie)  
 $\nabla$  Es el volumen sumergido del casco (m<sup>3</sup> o pie<sup>3</sup>)

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, $z$<br>(m) | $A_{WP}(z)$<br>(m <sup>2</sup> ) | $zA_{WP}$<br>(m <sup>3</sup> ) |
|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 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 (m<sup>2</sup> ó ft<sup>2</sup>)

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

$\nabla$  es el volumen bajo el agua (m<sup>3</sup> ó ft<sup>3</sup>)

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 <sup>2</sup> ) | $x$ (m) | $x A_s$ (m <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------------------|---------|---------------------------|
| 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                    |

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

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

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

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

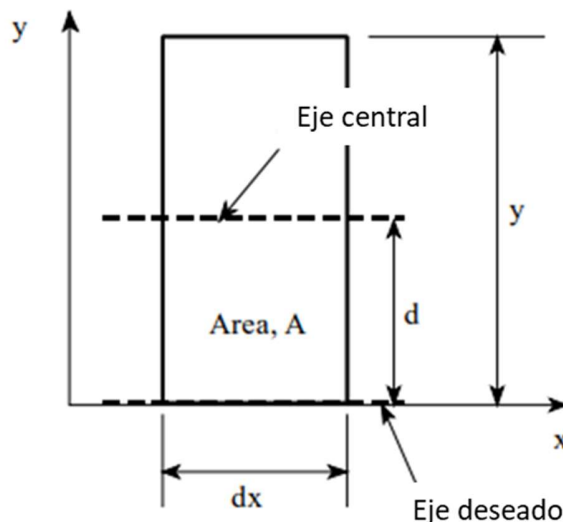
El segundo momento del área de un rectángulo se obtiene a partir de la integral general  $\int y^2 dA$ . El segundo momento del área de un rectángulo alrededor de su propio centro es  $(1/12) y^3 dx$ . Para realizar la sumatoria deseada, el segundo momento de área de todos los rectángulos debe estar 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 2.14 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 2.14** 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<br>(m) | (media manga) <sup>3</sup><br>(m <sup>3</sup> ) |
|----------|--------------------|-------------------------------------------------|
| 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.



### ESTABILIDAD Y ESTIBA

La integral buscada es  $I_L = \int x^2 y dx$ . Para aplicar la 1ra regla de Simpson, se debe determinar la magnitud de  $x^2 y$  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,<br>y<br>(m) | Distancia desde<br>Sección media<br>x (m) (- a popa<br>sección 1/2) | $x^2 y$<br>(m <sup>3</sup> ) |
|----------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 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                    |

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

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

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

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.

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

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 barco está flotando adrizado y con una quilla uniforme; es decir sin escora ni asiento.

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

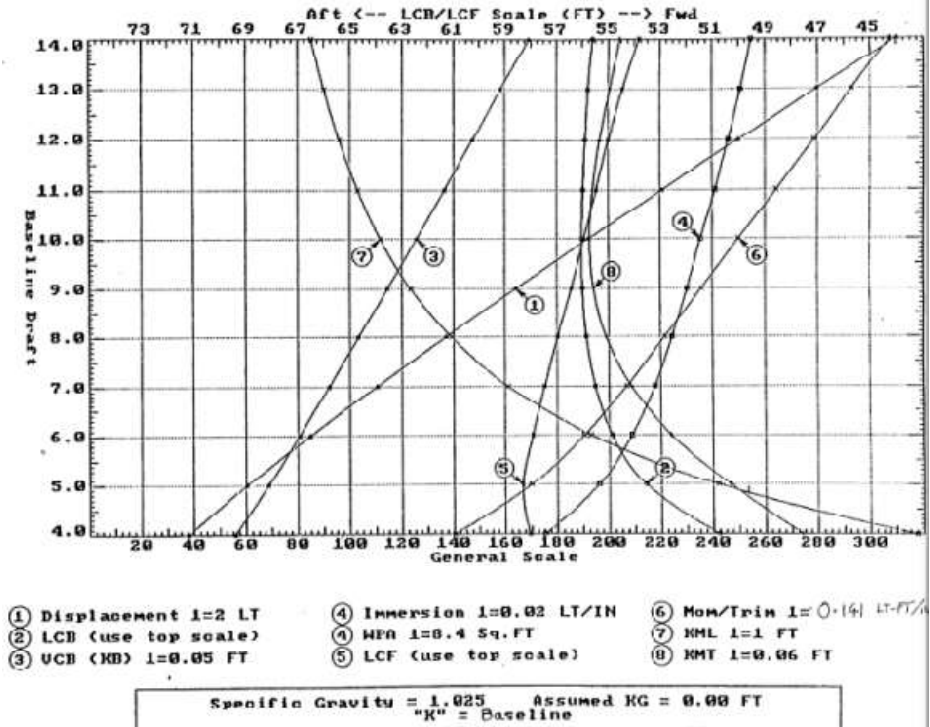
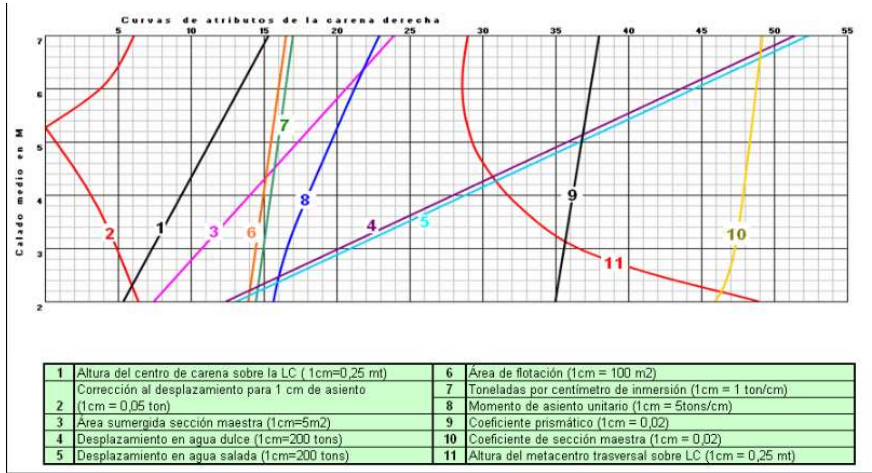
Tenga presente que todas las propiedades en las "curvas de forma" son funciones del calado medio y de la geometría del casco. Cuando se agrega, se quita o se mueve peso de a bordo, la forma del plano de flotación y del volumen sumergido cambiarán de forma y con ello todas las propiedades geométricas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

*En la ejecución de cálculos normales, sólo se generan pequeños cambios de calado, y por ello las propiedades en las curvas de forma también experimentan sólo pequeños cambios. Esto significa que para la mayoría de los problemas, no importa si se buscan las propiedades con el calado medio inicial, el calado promedio final en el borrador inicial medio, el borrador medio final o el calado medio promediado. Numéricamente, todos arrojarán resultados cercanos que no deberían afectar su 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.*

Los siguientes son dos ejemplos de curvas de forma de buques diferentes



## ESTABILIDAD Y ESTIBA





## 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 ( $\Delta$ )

El desplazamiento es el peso del agua desplazada por el barco para un calado determinado, asumiendo que el barco está en agua salada con una densidad de  $1.025 \text{ kg/m}^3$  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 la tonelada, 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 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 para que no se produzcan 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.

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



### ESTABILIDAD Y ESTIBA

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

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

Normalmente:

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

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

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

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<sup>3</sup> o 1.99 lb s<sup>2</sup>/pie<sup>4</sup>).

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<sup>2</sup>. 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.

#### 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 barco 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



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

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<sub>L</sub>

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<sub>T</sub>

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 e instrucciones, 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<sup>3</sup> 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 barco?
  - 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.
  - f. Escriba la ecuación de cálculo que representa el área debajo de la curva del boceto entre cero y 10 segundos. ¿Qué representa físicamente esta área?
2. Desciba cómo se sustentan agua los hovercraft y los barcos 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:

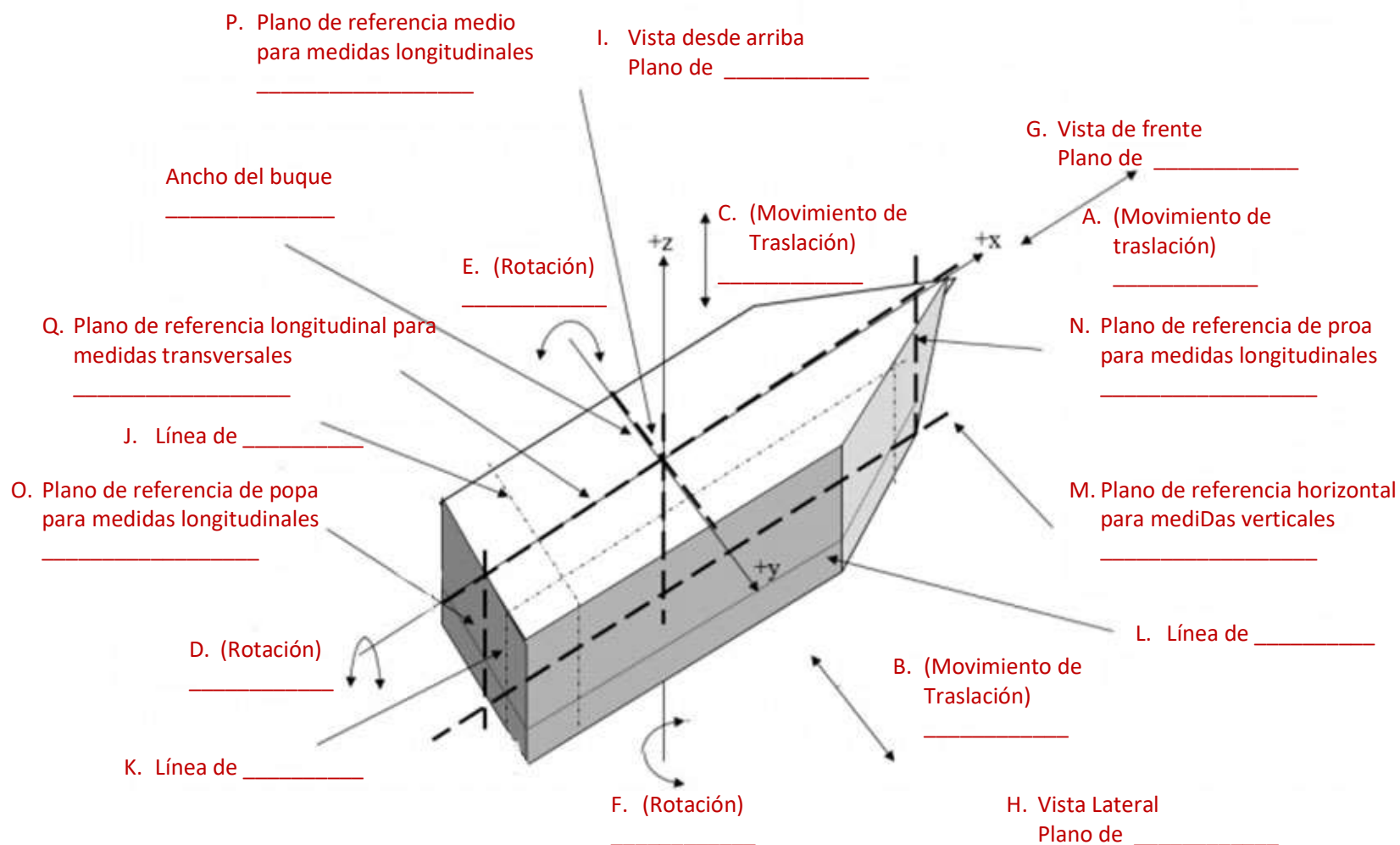
4. Dibuje el perfil de un buque y muestre lo siguiente:
  - a. Perpendicular de proa.
  - b. Perpendicular de popa.
  - c. Secciones, asumiendo que el barco tiene estaciones numeradas desde la 0 a la 10.
  - d. Eslora entre perpendiculares.
  - e. Eslora total.
  - f. Línea de flotación de diseño.
  - 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 Australiana 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 (m <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------------------|
| 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                               |
| <b>4,88 (DLW)</b>                   |      | <b>0,10</b> | <b>1,12</b> | <b>2,11</b> | <b>3,94</b> | <b>4,73</b> | <b>5,41</b> | <b>6,40</b> | <b>6,89</b> | <b>6,93</b> | <b>6,63</b> | <b>6,35</b> | <b>5,97</b> | <b>5,10</b> | <b>3,80</b> | <b>1.284,48</b>                        |
| 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                                 |
| <b>0 (Quilla)</b>                   |      |             |             | <b>0,21</b> | <b>0,21</b> | <b>0,21</b> | <b>0,21</b> | <b>0,21</b> | <b>0,21</b> | <b>0,21</b> |             |             |             |             |             | <b>29,21</b>                           |

|                                         |  |      |  |  |  |       |  |  |       |  |  |       |  |  |      |  |
|-----------------------------------------|--|------|--|--|--|-------|--|--|-------|--|--|-------|--|--|------|--|
| Área de sección a DWL (m <sup>2</sup> ) |  | 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.

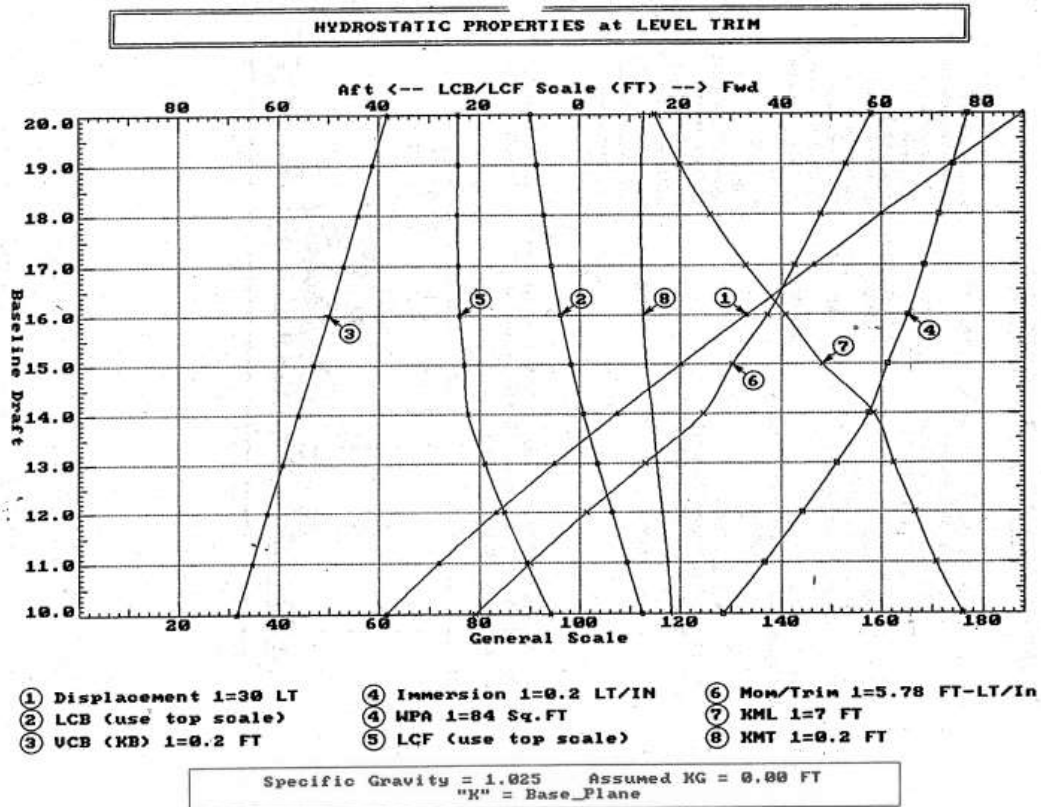


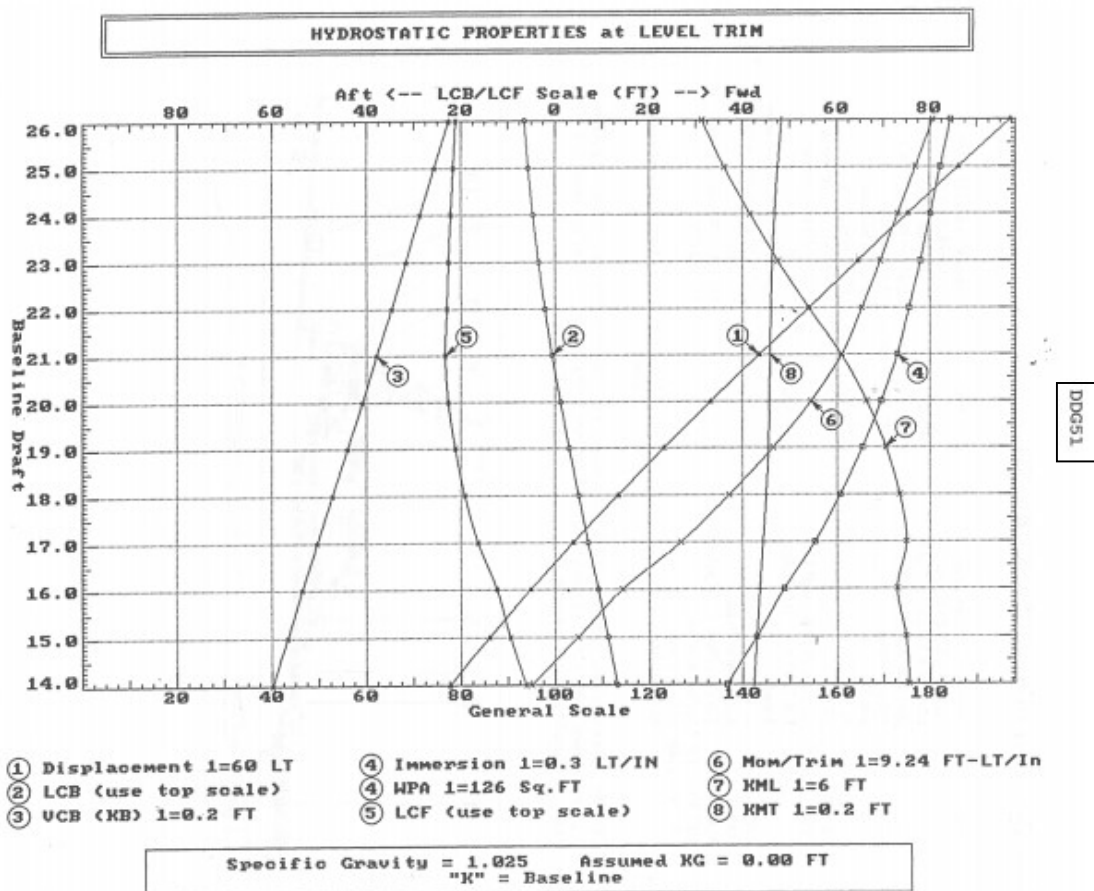
Fig 7

15. Las Curvas de Forma de un buque son una representación gráfica de sus propiedades hidrostáticas. Al calcular las propiedades hidrostáticas de un barco 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 ( $\Delta$ )
  - 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 barco, en pies, debido a la adición de peso?
  - c. Calcule el calado final después de haberse agregado el peso a bordo.



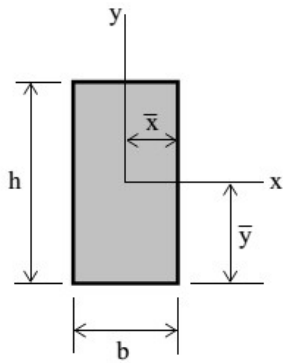
20. Una pieza de maquinaria que pesa 50 LT se mueve desde el centro de flotación a un punto 150 pies a proa de F en un DDG-51 que flota en una quilla pareja y un calado de 21.5 pies, ¿Cuál es el cambio en el asiento que experimenta el destructor por este movimiento de peso?



## ESTABILIDAD Y ESTIBA APÉNDICE “A”

### PROPIEDADES DE LAS FORMAS GEOMÉTRICAS COMUNES

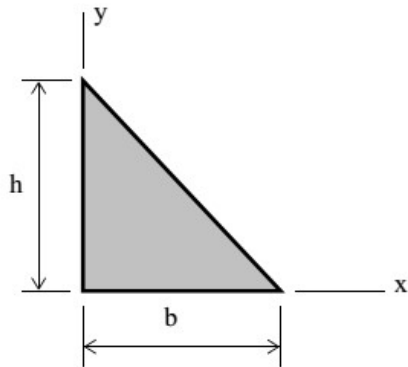
**Rectángulo** (origen de los ejes en el centroide)



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

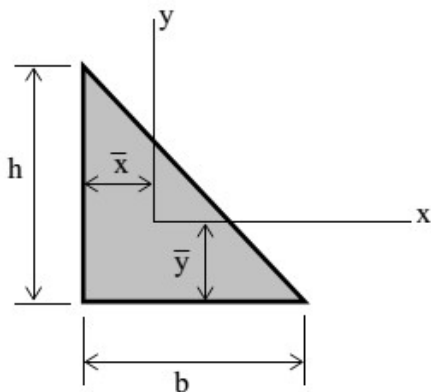
$$I_x = \frac{bh^3}{12} \quad I_y = \frac{hb^3}{12}$$

**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)



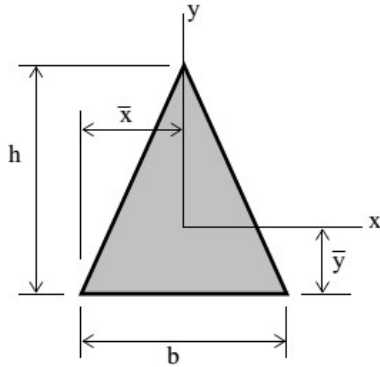
$$\bar{x} = \frac{b}{3} \quad \bar{y} = \frac{h}{3}$$

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



## ESTABILIDAD Y ESTIBA

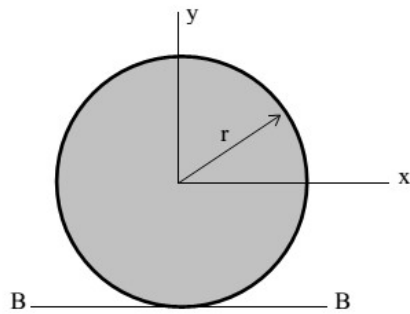
**Triángulo Isósceles** (origen de los ejes en el centroide)



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

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

**Círculo** (origen de los ejes en su centro)



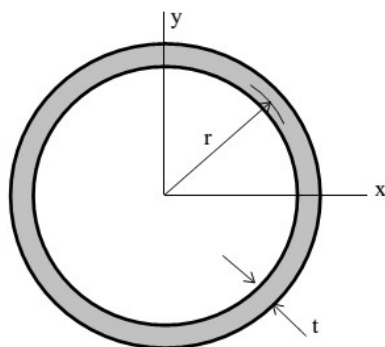
$$d = 2r \quad A = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

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

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

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

Ecuaciones aproximadas para espesores "t" pequeños



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

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