
UT 1

FUNDAMENTOS DE ESTABILIDAD

Catedra de Sistemas de Ingeniería

Profesores:

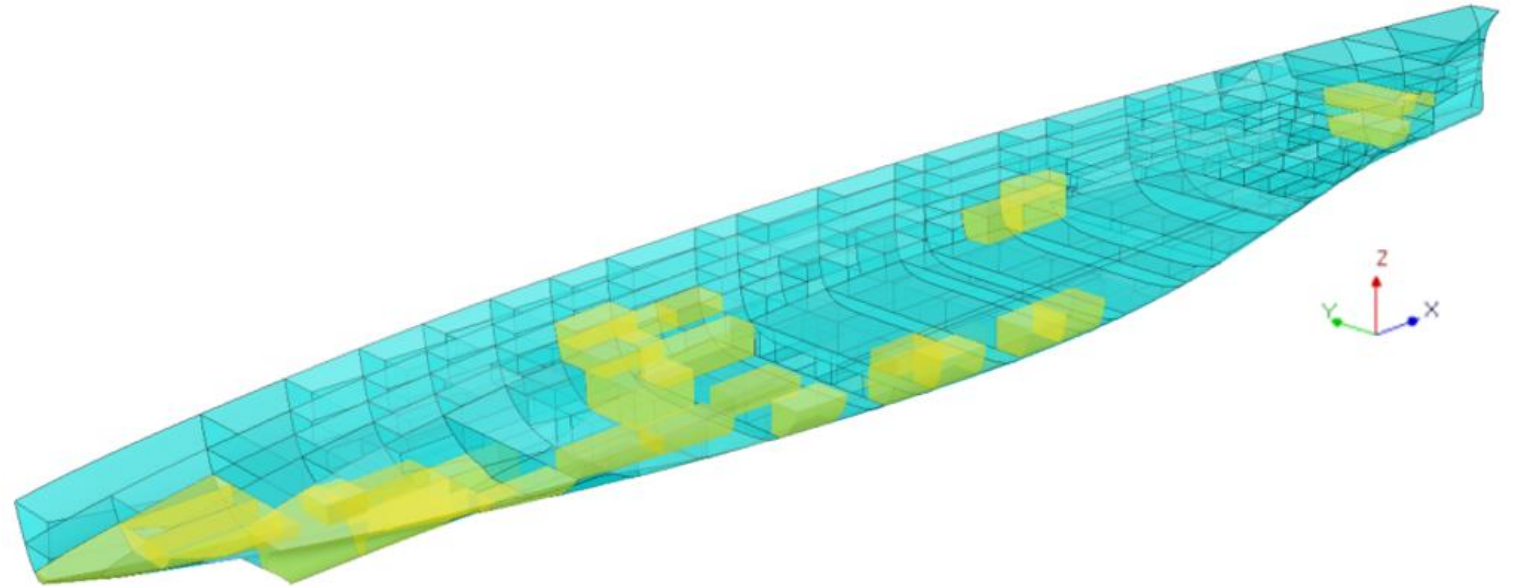
CC Sr. Matías Fisher Silva (4A, 3C y 3D)

PC Alberto García Covacevich (4B, 4C, 3A y 3B)

Tercero y Cuarto Ejecutivo Escuela Naval - Primer semestre 2024



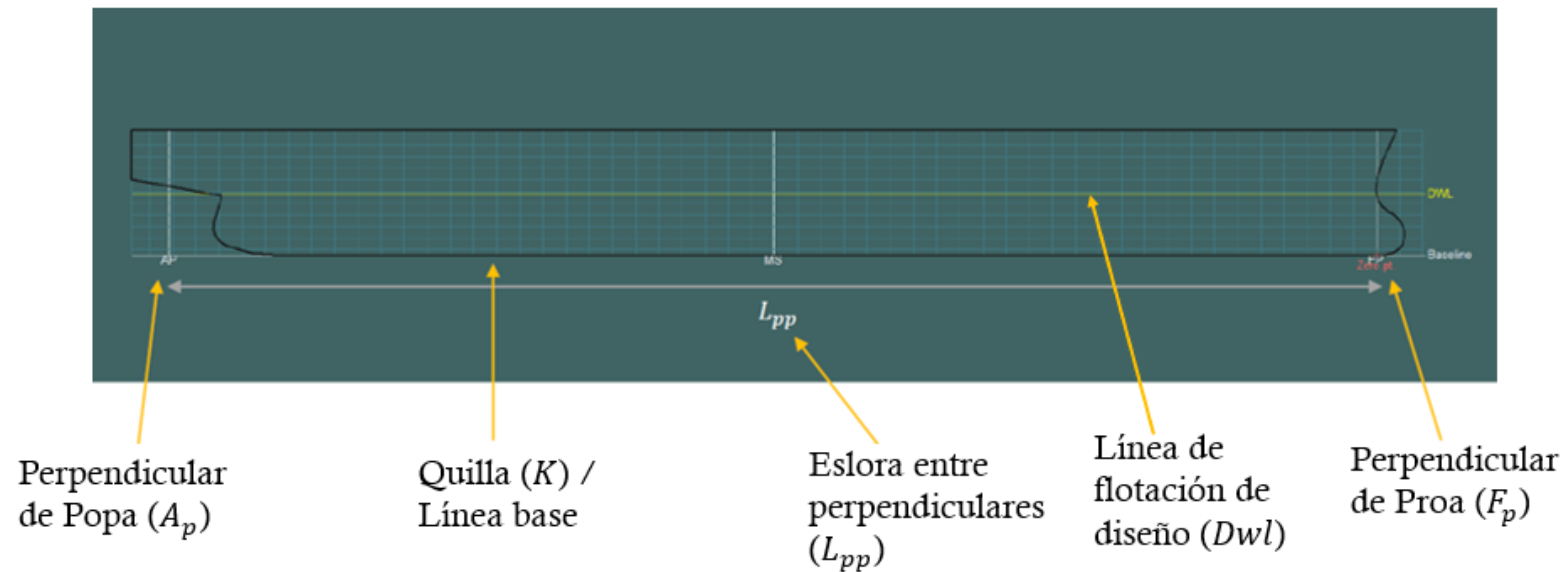
DIMENSIONES Y GEOMETRÍA DEL BUQUE.



TERMINOLOGÍA BÁSICA

- L : Eslora [m].
- B : Manga [m].
- T : Calado [m].
- D : Puntal [m].
- Δ : Desplazamiento [t].
- ∇ : Volumen sumergido (varía con el calado) [m³].
- A_M : Área de la Sección Central [m²].
- A_X : Área de la Sección Máxima [m²].
- A_W : Área del Plano de Agua [m²].

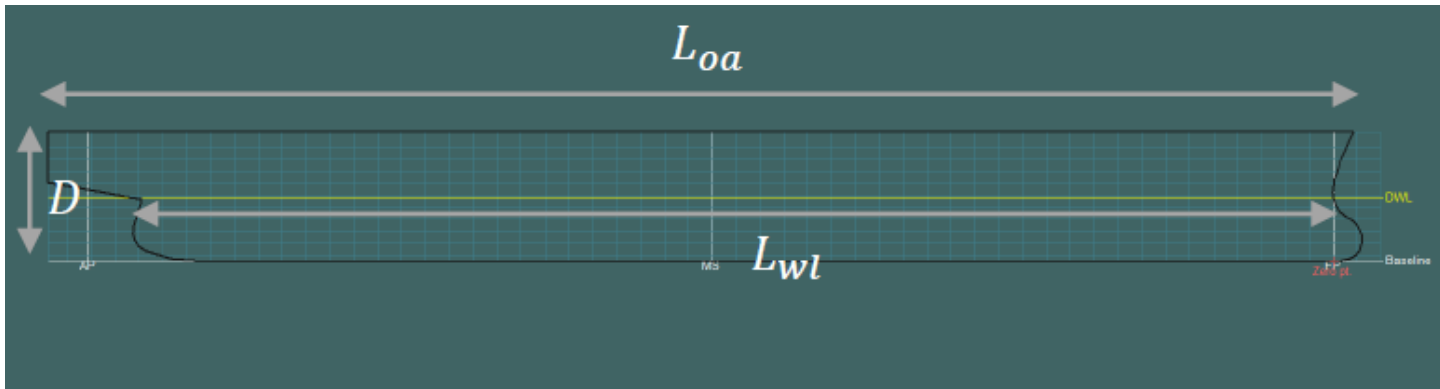
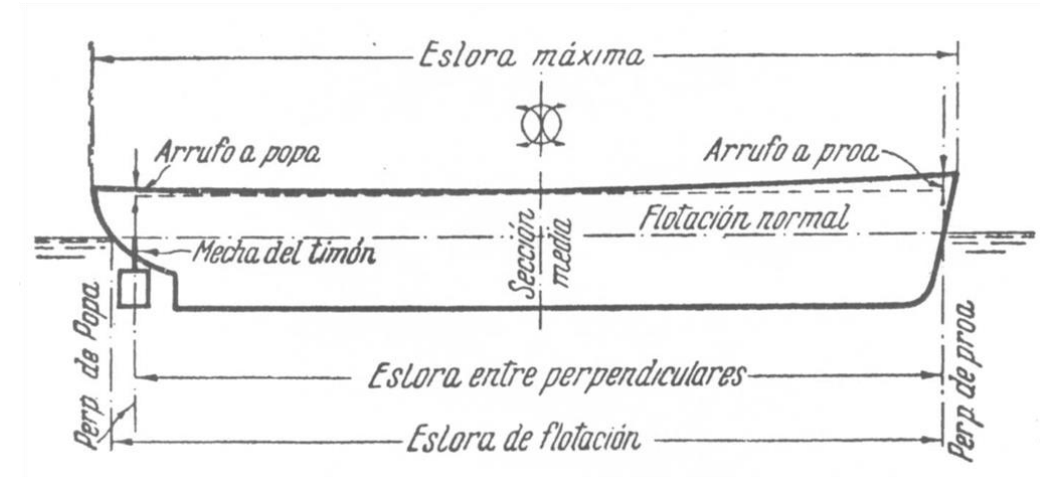
DIMENSIONES DE UN BUQUE



- Dwl : Línea de agua a la cual fue diseñado el buque.
- F_p : Línea vertical imaginaria donde la proa intersecta con la Dwl .
- A_p : Línea vertical imaginaria donde la popa intersecta con la Dwl .
- L_{pp} : Distancia horizontal desde la F_p a la A_p

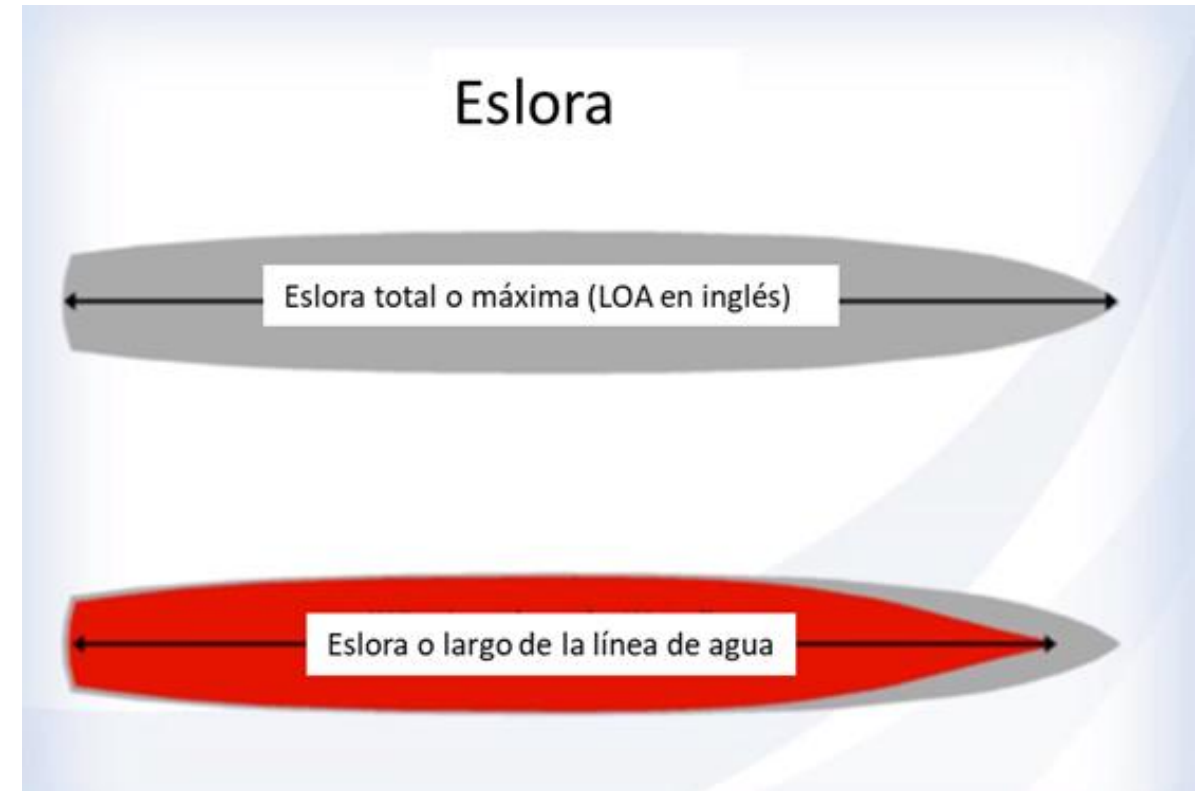
DIMENSIONES DE UN BUQUE

- Eslora: distancia longitudinal a lo largo del eje proa popa de un buque.

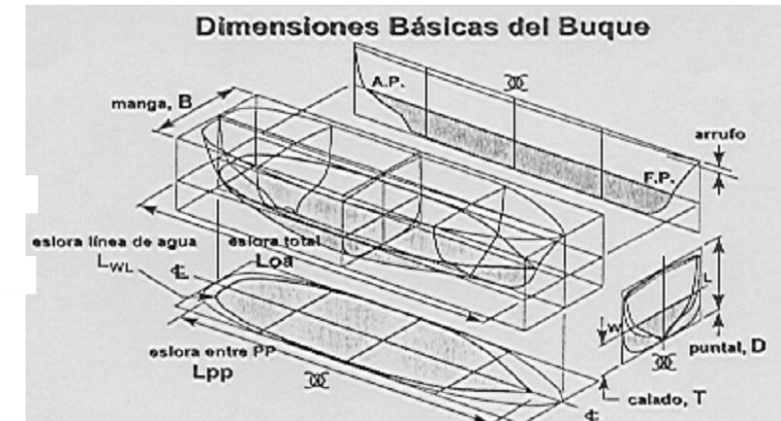
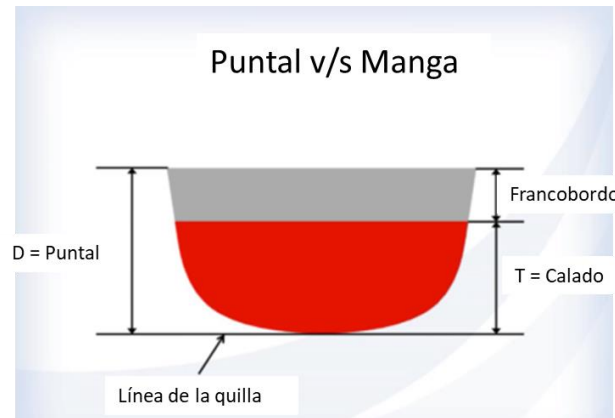
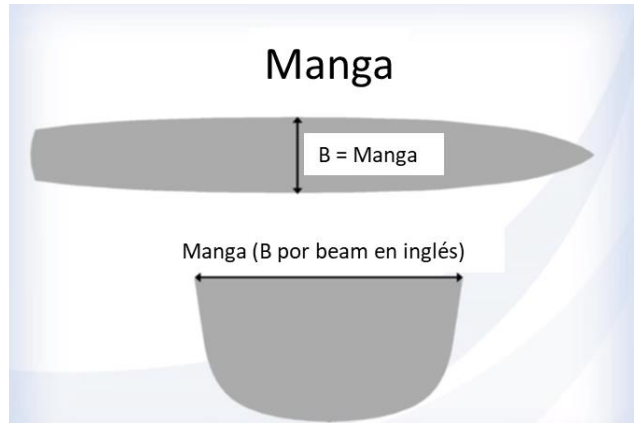


DIMENSIONES DE UN BUQUE

- Eslora máxima (L_{oa}): Largo total del buque
- Eslora de Flotación (L_{wl}): Longitud del buque medida en la Línea de Flotación (varía con el Calado).



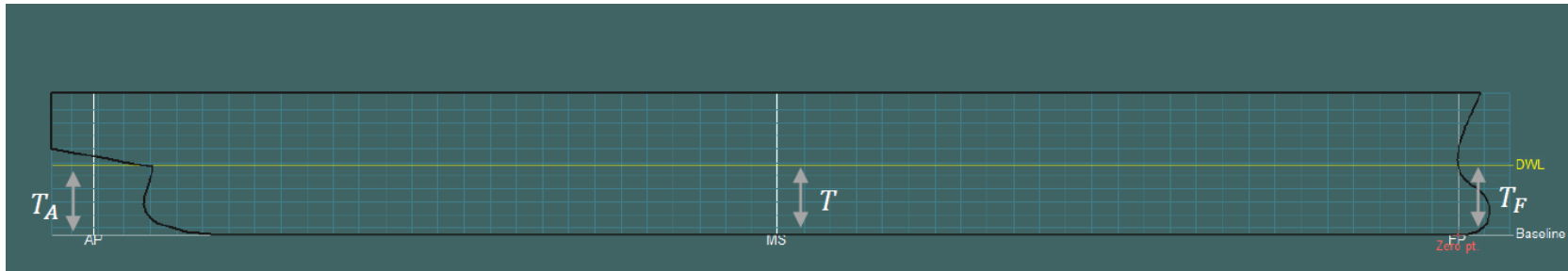
DIMENSIONES DE UN BUQUE



- Puntal (D): Distancia vertical desde la Quilla a la cubierta principal.
- Manga (B): Medida transversal del buque, a través de cada sección. También se define como Manga de Flotación (B_{wl}).
- Manga Máxima (B_{oa}): Máxima manga el buque.

DIMENSIONES DE UN BUQUE

- Calado (T): Distancia desde la Quilla a la Línea de Flotación (wl).
 - T_F : Calado de Proa.
 - T_A : Calado de Popa.
 - $T = 0.5(T_F + T_A)$
- Trimado (t): Diferencia entre el Calado de Proa y el Calado de Popa.
 - $t = T_A - T_F$
 - $T_F > T_A$ Buque Encabuzado
 - $T_F < T_A$ Buque Sentado

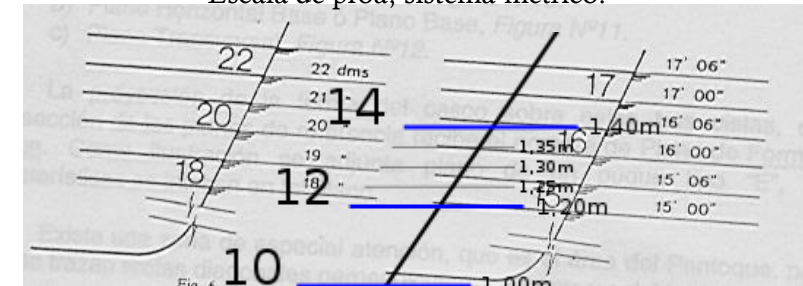


EL BUQUE Y SUS DIMENSIONES

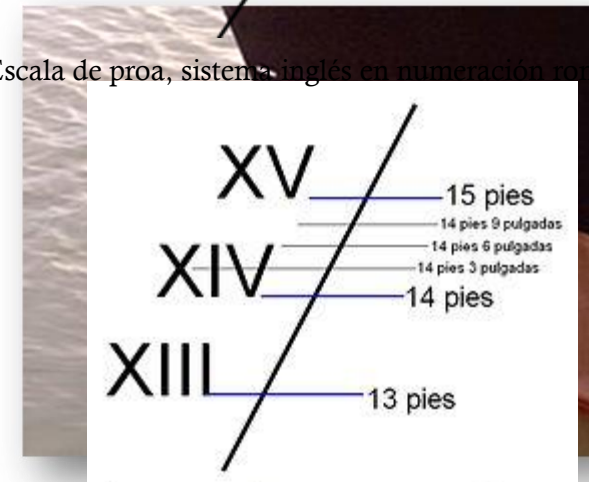
Calado:

- Medido cerca de la Roda, se llama calado de proa.
- Calado de popa será cuando se mide cerca de popa.
- Calado medio es el promedio aritmético entre el calado de proa y el de popa.
 - Es la medida que se utiliza para entrar a las curvas de estabilidad.
- En buques mayores a 70 u 80 m, es frecuente encontrar una escala de calados a la altura de la cuaderna maestra para poder compararlo con el calculado por la semisuma de los calados de proa y popa.
 - Si hay diferencia, puede indicar que el casco se encuentra sometido a esfuerzo de arrufo o quebranto originados por la distribución de los pesos a bordo.
- La mayoría de los buques se diseña para que ambos calados sean iguales.

Escala de proa, sistema métrico.

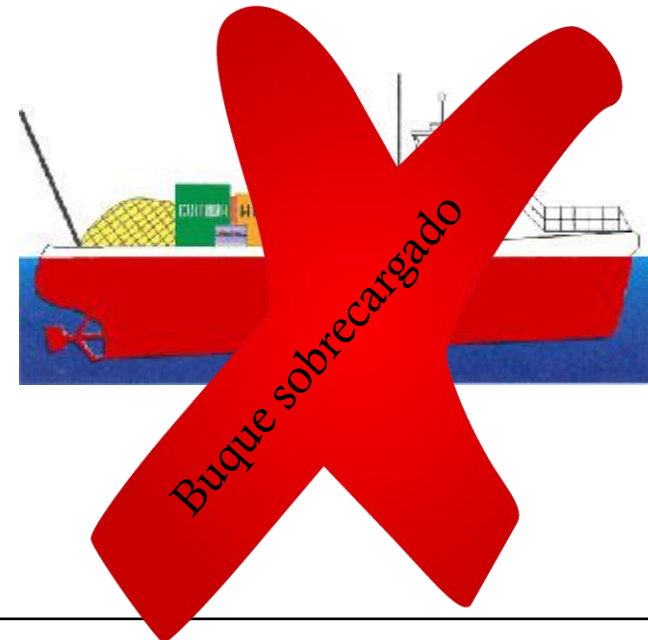
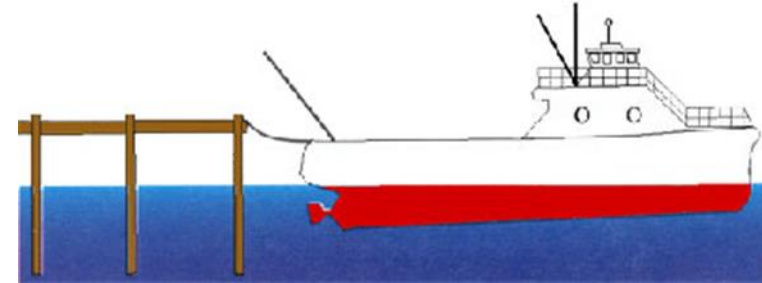


Escala de proa, sistema inglés en numeración romana

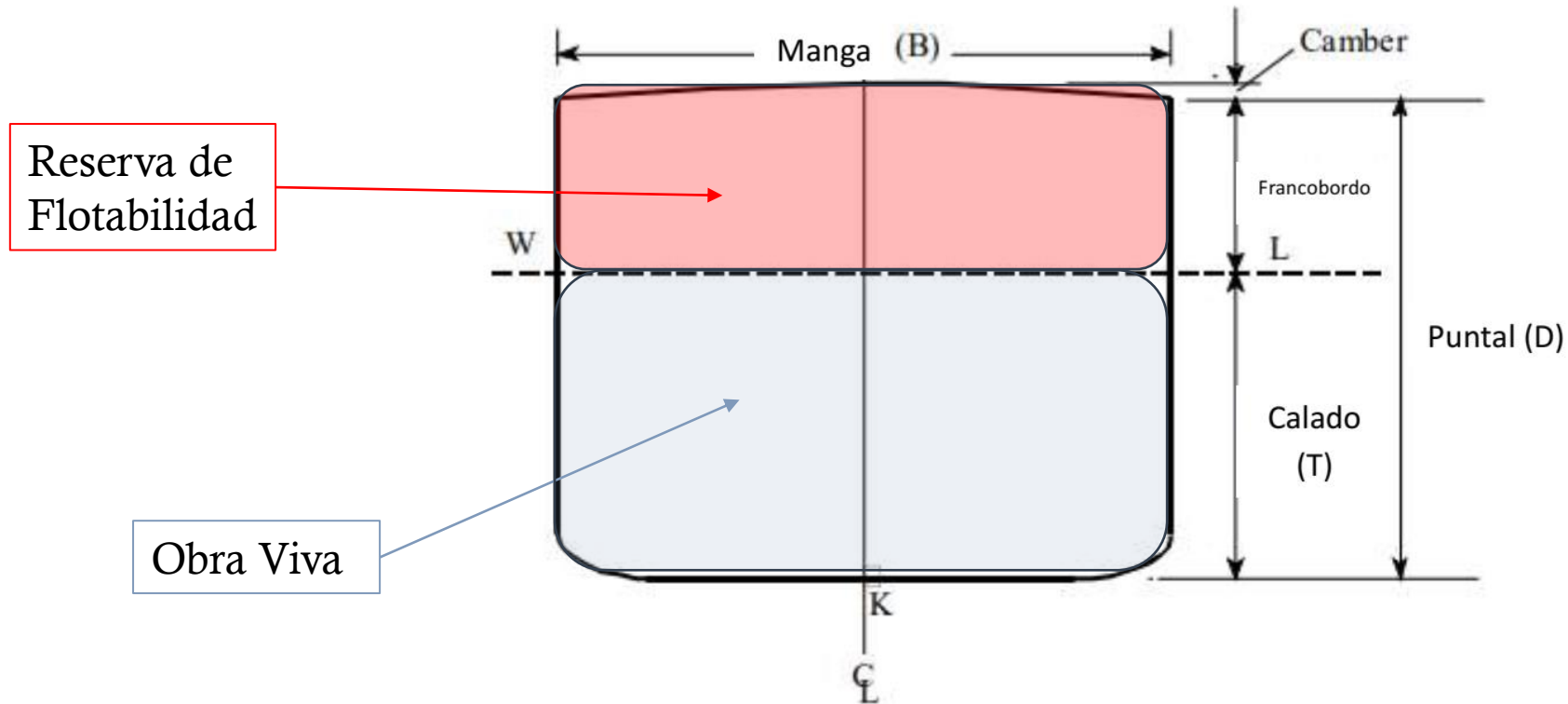


EL BUQUE Y SUS DIMENSIONES

- Todos los buques tienen un calado máximo y mínimo para operar. Operar fuera de estos límites generan peligro para el buque, su tripulación y su carga.
- Estos calados se conocen como calados límites.
- Cuando en condición de diseño los calados son diferentes, siendo el de popa mayor que el de proa se dice que está diseñado con Arrastre.



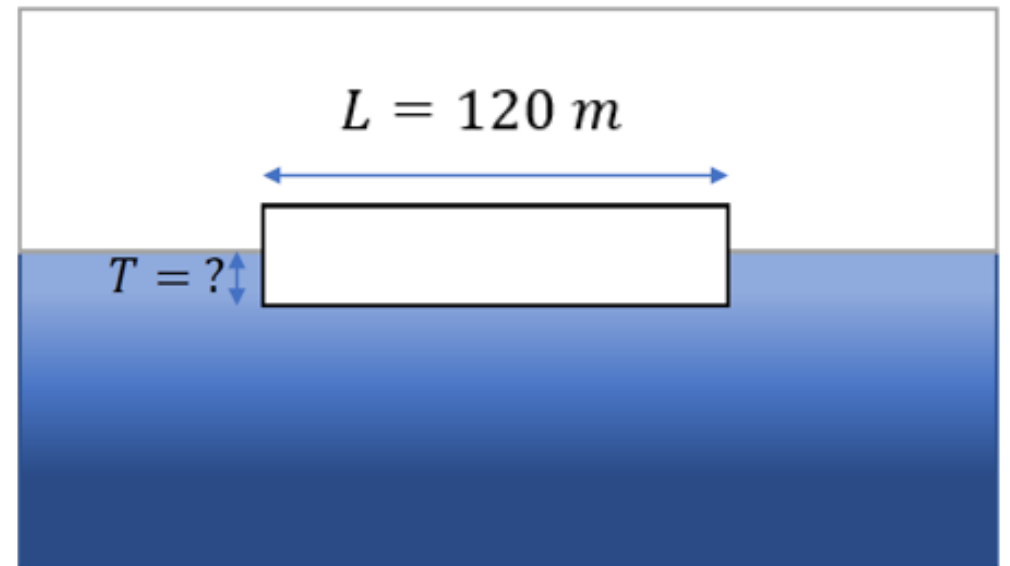
REPRESENTACIÓN DE LA FORMA DEL CASCO



EJERCICIO

Encontrar el Calado Medio de una barcaza rectangular que flota en agua salada.

- $L = 120 \text{ m}$
- $B = 18 \text{ m}$
- $\Delta = 4000 \text{ t}$



EJERCICIO

Encontrar el Calado Medio de una barcaza.

$$\nabla = L * B * T$$

$$\Rightarrow \Delta = L * B * T * \rho$$

$$\Rightarrow T = \frac{4000 [t]}{120 [m] * 18 [m] * 1.025 [\frac{kg}{m^3}]}$$

$$\Rightarrow T = 1.80 [m]$$

EL BUQUE Y SUS DIMENSIONES

EJERCICIOS DE CÁLCULO DE CALADO MEDIO Y TRIMADO

- Los calados de un buque son: $T_A = 5,20$ m y $T_F = 4,96$ m. Hallar el calado medio (T), y el trimado (t).
 - Solución: $T = 5,08$ m; $A = +0,24$ m.
- Un buque tiene los siguientes calados: $T_A = 6,80$ m y $C_{pr} = 7,50$ m. Hallar el calado medio y el asiento.
 - Solución: $T = 7,15$ m; $t = -0,70$ m.

Si por diseño un buque cala 20 pies a proa y a popa, y se realizan cambios de peso para que el calado de proa quede en 19' 6" y el de popa en 20' 6". Se dice que sufrió un cambio de asiento de 1 pie.

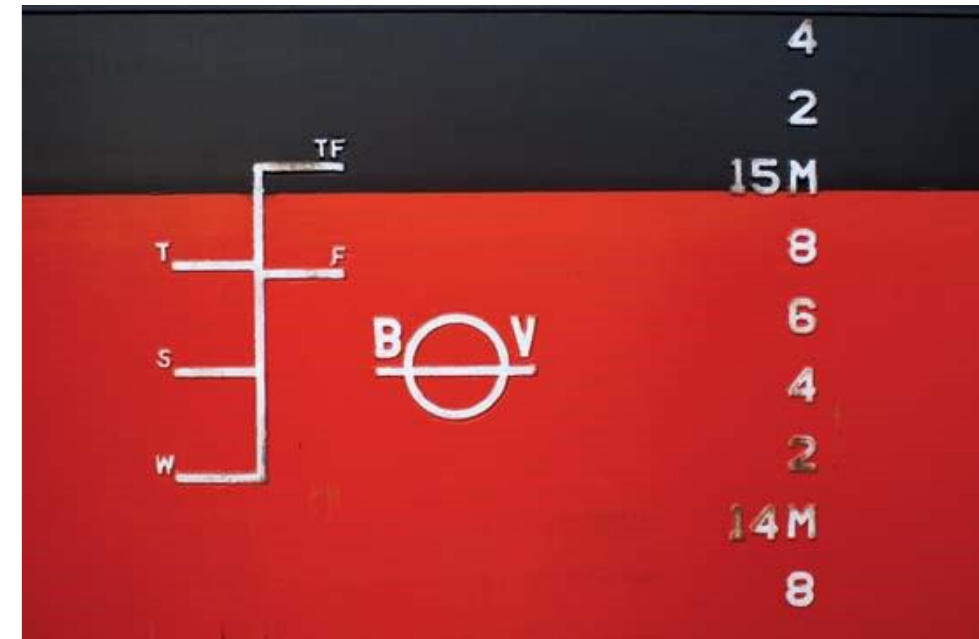
- Un buque flota a su calado de diseño, que es 21' a proa y 22' 6" a popa, ¿Cuál es su calado medio? - ¿Cambio en asiento? - ¿Arrastre?
 - Solución: Calado medio 21' 9" - Cambio de asiento 0, ya que está en sus calados de diseño y no se ha especificado ningún cambio - Arrastre, 1' 6"

LÍNEAS DE AGUA

- Buques de Guerra: Design Waterline (DWL)
- Buques Mercantes: Summer Load Line

LÍNEA
PLIMSOLL

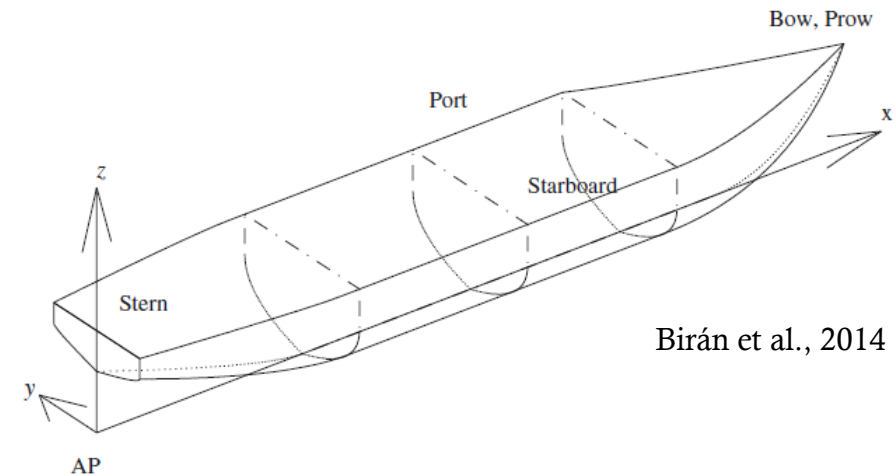
- T: Tropical
- S: Summer
- W: Winter
- F: Fresh
- TF: Tropical Fresh



GEOMETRÍA DEL CASCO

Sistema de Coordenadas:

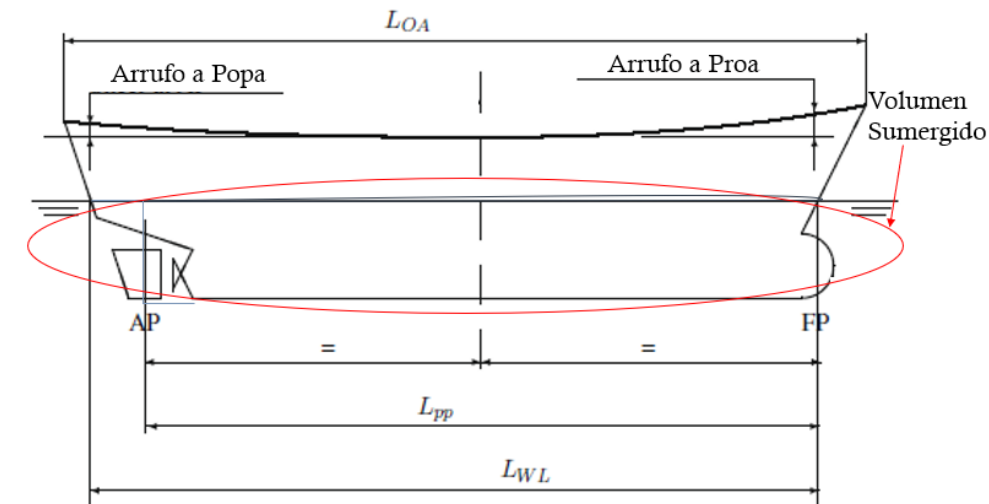
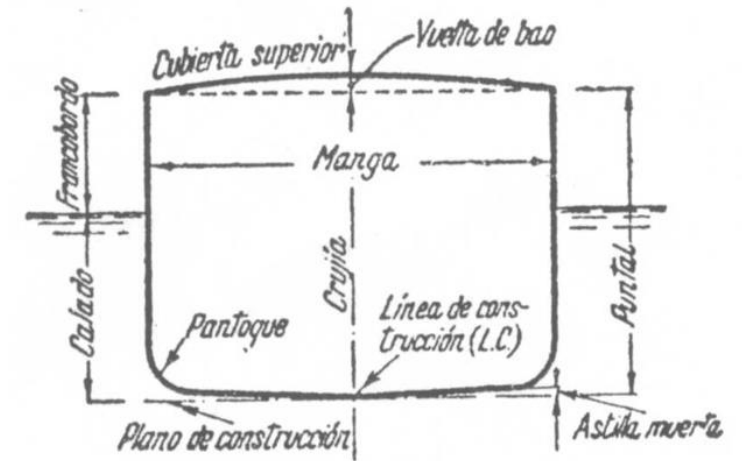
- Origen de las coordenadas se encuentra en la intersección del plano de la línea de crujía con la perpendicular de popa y la línea de base.
- Eje x es longitudinal y positivo hacia proa.
- Eje y es transversal y positivo hacia babor.
- Eje z es vertical y positivo hacia arriba.



Birán et al., 2014

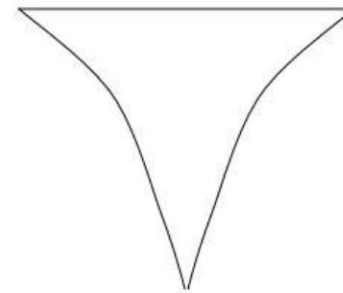
GEOMETRÍA DEL CASCO

- Francobordo: Distancia entre la línea de flotación y la cubierta principal (reserva de flotabilidad).
- Pantoque: Zona de unión del planchaje del costado y la quilla.
- Astilla Muerta: Distancia desde la línea base a través de la proyección vertical de la borda con la intersección de la línea tangente del planchaje en la quilla plana del buque.
- Volumen Sumergido (v) : Volumen de la obra viva.
- Arrufo: Curvatura longitudinal que puede presentar la cubierta.
- Brusca: Curvatura transversal que puede presentar la cubierta.

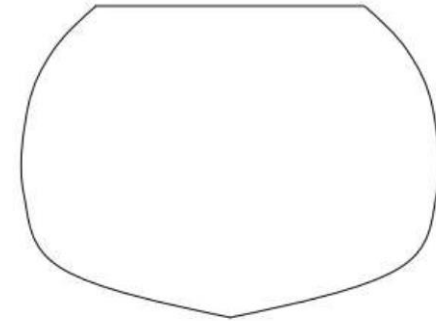


GEOMETRÍA DEL CASCO

- Flare o sección afinada: Curvatura del casco hacia dentro, sobre la superficie del agua.
- Tumblehome o sección ensanchada o gruesa: Opuesto al Flare.



Flare

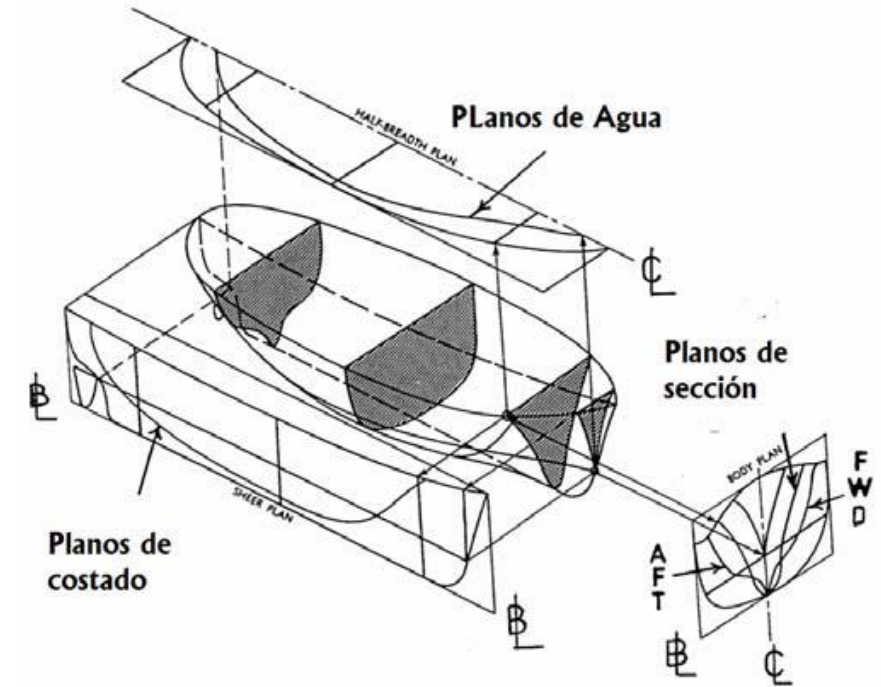


Tumblehome

En la figura de la izquierda se puede apreciar a la FFG Lynch con casco afinado o Flare y al destructor Zumwalt con casco ensanchado o Tumblehome, ambos operando en RIMPAC 2022

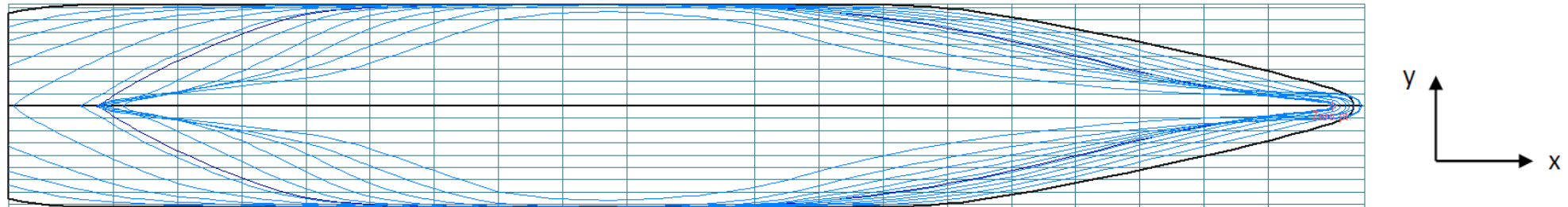
PLANOS DEL CASCO

- El casco de un buque es una figura tridimensional compleja, que debe cumplir con un número importante de requerimientos.
- Debe ser representada con datos en los tres ejes (x, y, z)
- La geometría del casco puede ser considerada en términos de:
 - Planos de Líneas de Agua: Curvas en el plano x-y, para diferentes valores de z.
 - Planos de Sección: Curvas en el plano y-z, para diferentes valores de x.
 - Planos de Costado: Curvas en el plano x-z, para distintos valores de y.



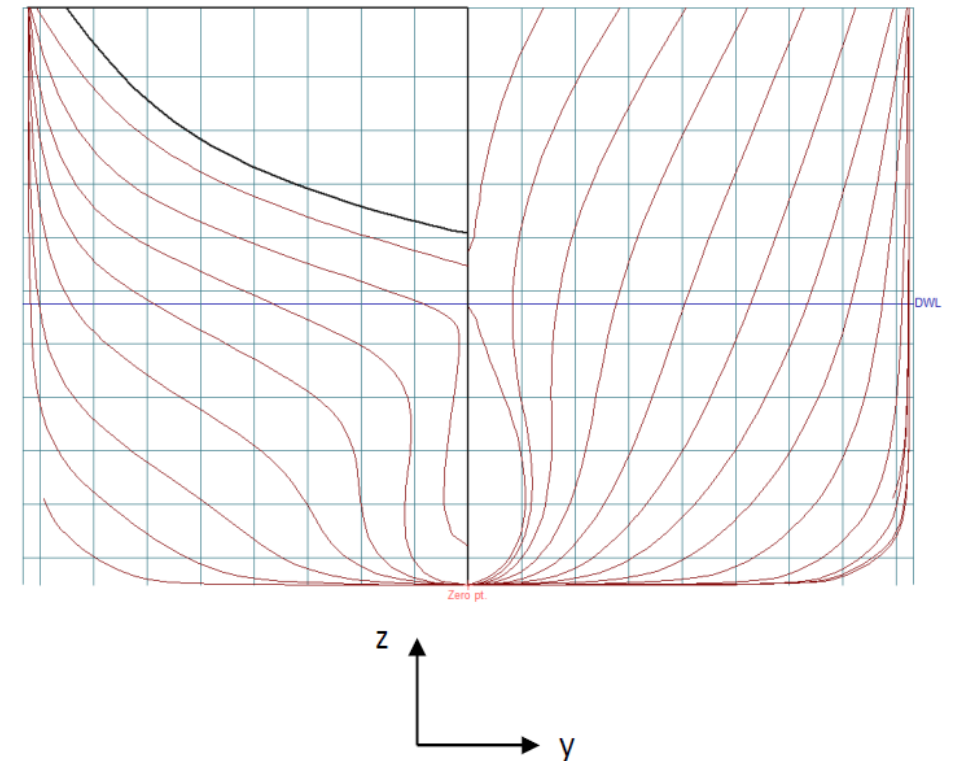
PLANO HORIZONTAL

- Planos de líneas de agua, indican la forma de los planos horizontales para diferentes calados.
- Generalmente sólo se indica la mitad del casco, ya que se asume simetría del otro costado.
- Entregan información relevante relativa a la estabilidad y resistencia del buque.



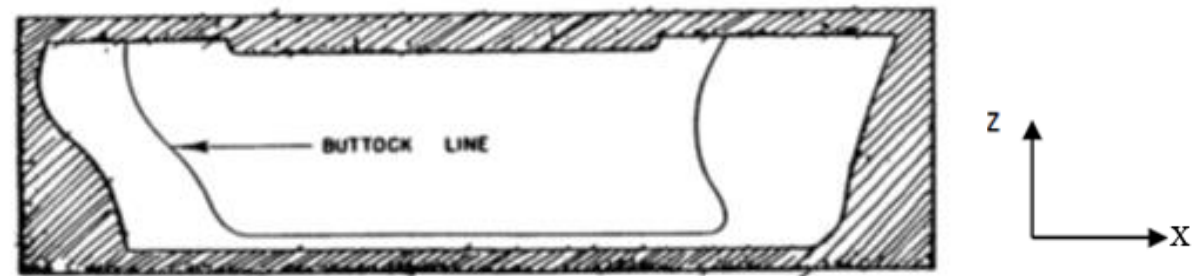
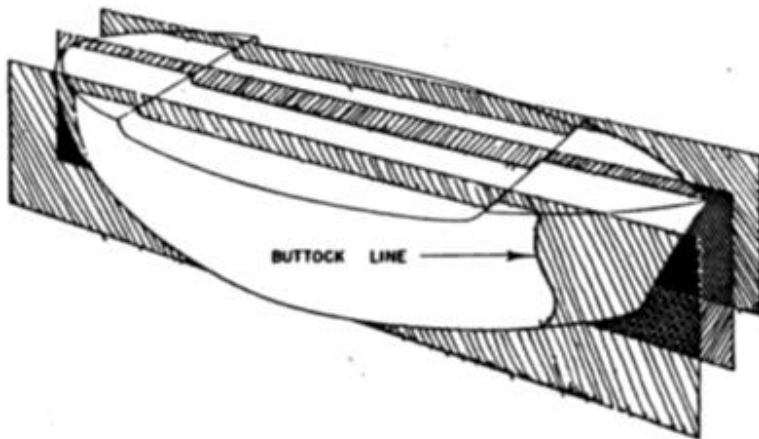
PLANO TRANSVERSAL

- Planos de Secciones, indican la forma de los planos transversales del casco.
- Por convención, las secciones de proa son representadas al lado derecho y las de popa al lado izquierdo.
- Se representa solamente la mitad del casco.



PLANOS DE COSTADO

- Planos de Costado, representan la intersección de planos paralelos al plano central para distintos valores de y
- Indica la forma de los planos verticales-longitudinales del casco, a diferentes distancias de la línea central (línea de crujía).
- Se representa solamente la mitad del casco.



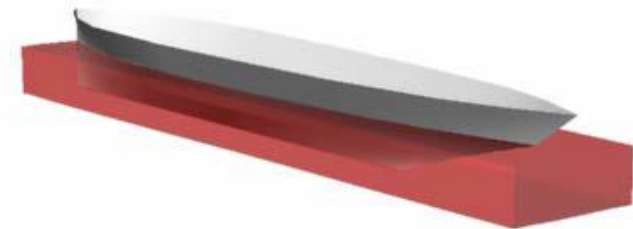
COEFICIENTES DE FORMA

- Relaciones que comparan dimensiones como áreas y volúmenes de los buques, con formas geométricas que poseen ciertas medidas equivalentes a las de éstos.
- Son usados para caracterizar la forma del casco. Entregan información importante respecto a su geometría
- Esto permite ciertas aproximaciones de cálculos hidrostáticos.

COEFICIENTE DE BLOQUE

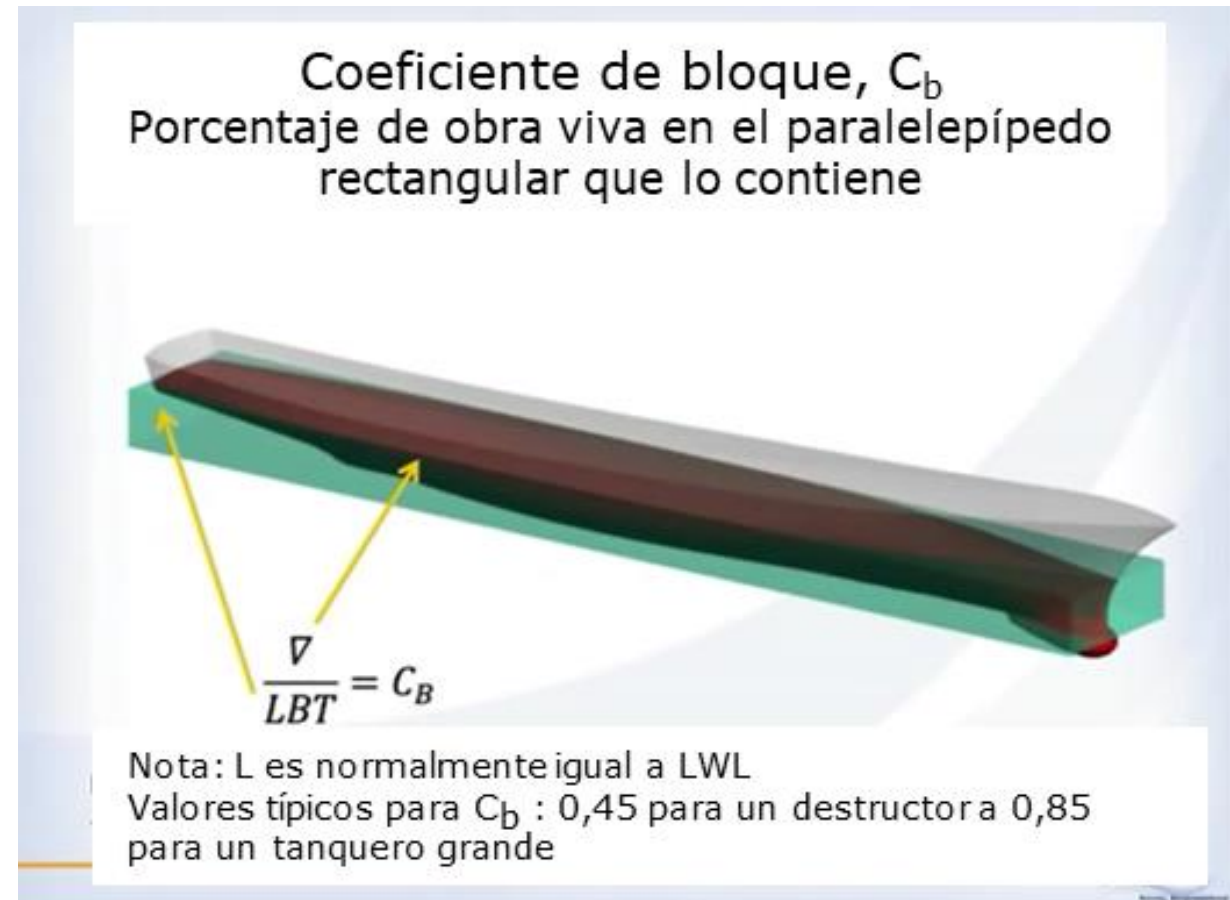
- Relación entre el volumen desplazado por un buque y el volumen de un prisma rectangular, de largo igual a la eslora de flotación, de ancho igual a la manga y de alto igual al calado correspondiente a la línea de agua.
- $\nabla = \text{volumen} = \frac{\Delta}{\rho} = \frac{\Delta}{1.025} [m^3]$

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{pp} * B * T}$$



- Tanqueros y Graneleros $0.7 < C_B < 0.9$
- Fragatas y OPVs tienen coeficiente de bloque menor, $0.45 \approx C_B$
- * Ocupar L_{pp} , no L_{wl} (esto dado que L_{pp} no varía con el calado).

COEFICIENTE DE BLOQUE



COEFICIENTE DE BLOQUE

EJERCICIO

- Asuma un buque de 64 metros de eslora y 10 de manga (ambas medidas en la línea de flotación).
- En condición de desplazamiento liviano tiene un calado medio de 1,5 metros. En condición de máxima carga (máximo desplazamiento autorizado), su calado medio es de 4 metros. Su coeficiente de bloque para carga liviana es de 0,6 y para máxima carga de 0,75.
- Encontrar su capacidad de carga máxima en agua salada.

COEFICIENTE DE BLOQUE

EJERCICIO - SOLUCIÓN

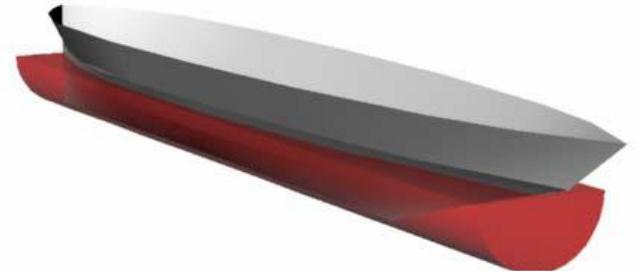
- Volumen de desplazamiento liviano:
 - Volumen ∇_l
$$\begin{aligned} &= L \times B \times T \times 0,6 \\ &= 64 \times 10 \times 1,5 \times 0,6 \\ &= 576 \text{ m}^3 \end{aligned}$$
- Volumen de desplazamiento a toda carga:
 - Volumen ∇_f
$$\begin{aligned} &= L \times B \times x \times 0,75 \\ &= 64 \times 10 \times 4 \times 0,75 \\ &= 1920 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Capacidad de carga máxima:
 - Carga máxima $= (\nabla_f - \nabla_l) \times 1,025 \left(\frac{t}{m^3} \right)$
$$\begin{aligned} &= 1920 - 576 = 1344 \text{ (m}^3\text{)} \\ &= 1344 \text{ (m}^3\text{)} \times 1,025 \left(\frac{t}{m^3} \right) \\ &= 1377,6 \text{ (t)} \end{aligned}$$

COEFICIENTE DE PRISMA

- Relación entre el volumen desplazado por el buque y el volumen de un cuerpo de sección constante e igual al área de la cuaderna maestra y largo igual a la eslora entre perpendiculares (se asume que el área de la cuaderna maestra es constante a través de toda la eslora).

$$C_P = \frac{\nabla}{L_{pp} * A_X}$$



- Parámetro importante para evaluar la resistencia al avance del buque.
- $C_P \geq C_B$

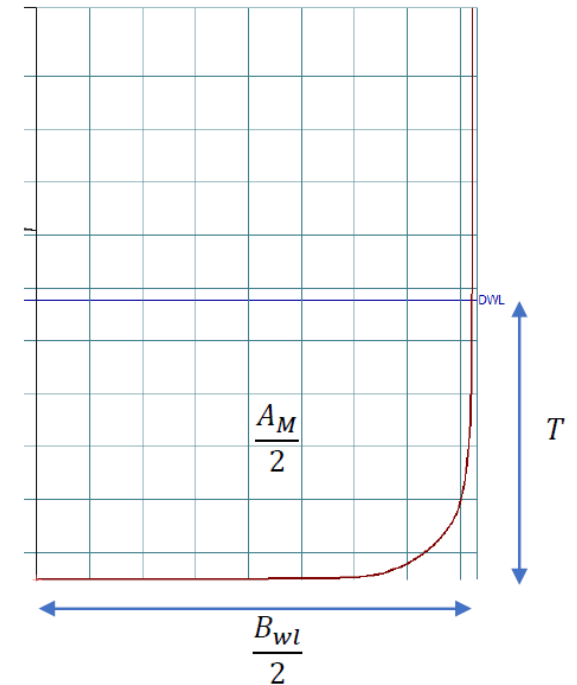
COEFICIENTE DE LA SECCIÓN MAESTRA

- Es la relación entre el área sumergida de la cuaderna maestra (o de la sección ubicada en $\frac{L_{pp}}{2}$) y la de un rectángulo cuyas dimensiones son la manga y el calado.

$$C_M = \frac{A_M}{B * T}$$

- Considerar que C_B , C_P y C_M se relacionan de la siguiente forma:

$$\frac{C_B}{C_P} = \frac{\nabla}{L_{pp} * B * T} = \frac{\nabla}{A_M * L_{pp}} = \frac{A_M}{B * T} = C_M$$

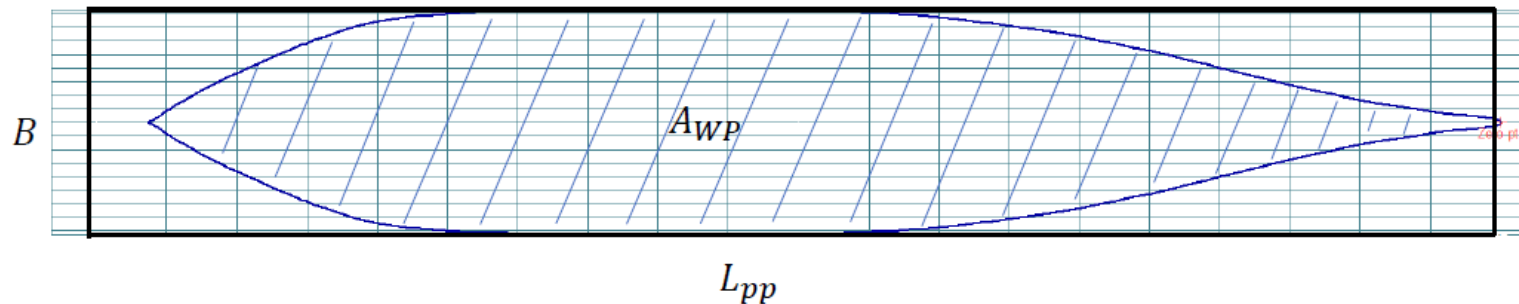


COEFICIENTE DEL ÁREA DEL PLANO DE AGUA

- Proporción (a un calado dado), del plano de flotación que ocupa el plano delimitado por la eslora y manga del buque .

$$C_W = \frac{A_W}{L_{wl} * B}$$

- Para una Eslora y Manga dadas, aumentar el C_{WP} mejora la estabilidad (aunque usualmente también aumenta la Resistencia).



COEFICIENTE DEL ÁREA DEL PLANO DE AGUA

Coeficiente plano de agua, A_w
Describe aspecto del plano de flotación


$$C_w = \frac{A_w}{LB}$$

Nota: L es normalmente LWL
Los valores típicos para C_w en la línea de agua de diseño: 0,67 para un destructor a 0,92 para un tanquero grande

NEEC

COEFICIENTE DEL ÁREA DEL PLANO DE AGUA

EJERCICIO

- Encontrar el área del plano de flotación de un buque de 36 metros de eslora y 6 de manga, que tiene un coeficiente de fineza o coeficiente de plano de agua de 0,8

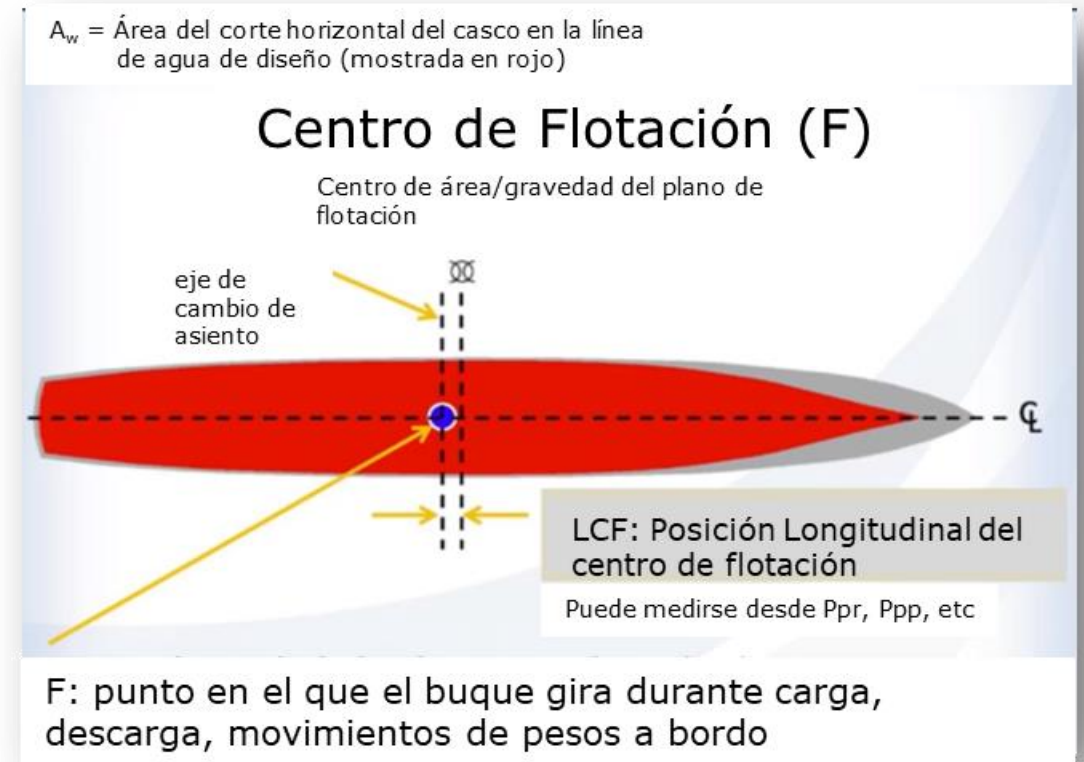
$$\begin{aligned}\text{Área plano flotación}(A_W) &= L \times B \times C_w \\ A_W &= 36(m) \times 6(m) \times 0,8 (-) \\ A_{WP} &= 172,8 (m^2)\end{aligned}$$

OTRAS RELACIONES

- Razón Eslora / Manga: $\frac{L_{pp}}{B}$
- Razón Eslora / Calado: $\frac{L_{pp}}{T}$
- Razón Manga / Calado: $\frac{B}{T}$
- Razón Calado / Puntal: $\frac{T}{D}$
- Coeficiente volumétrico: $\frac{\nabla}{L_{pp}^3}$

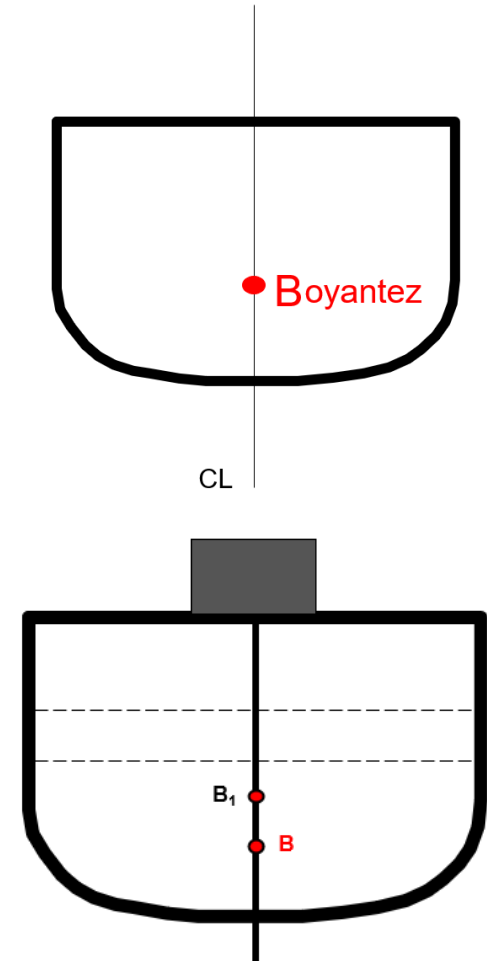
CENTRO DE FLOTACIÓN

- Centroide del plano de agua o plano de flotación.
- Es el punto pivote de escora y cambio de asiento de un buque.
- Varía con los cambios de asiento, escoras y calados debido a que cambia el plano de flotación
- En la figura del CF, que representa a un buque adrizado:
 - LCF está a popa de la cuaderna maestra.
 - CF o F está en la línea de crujía.



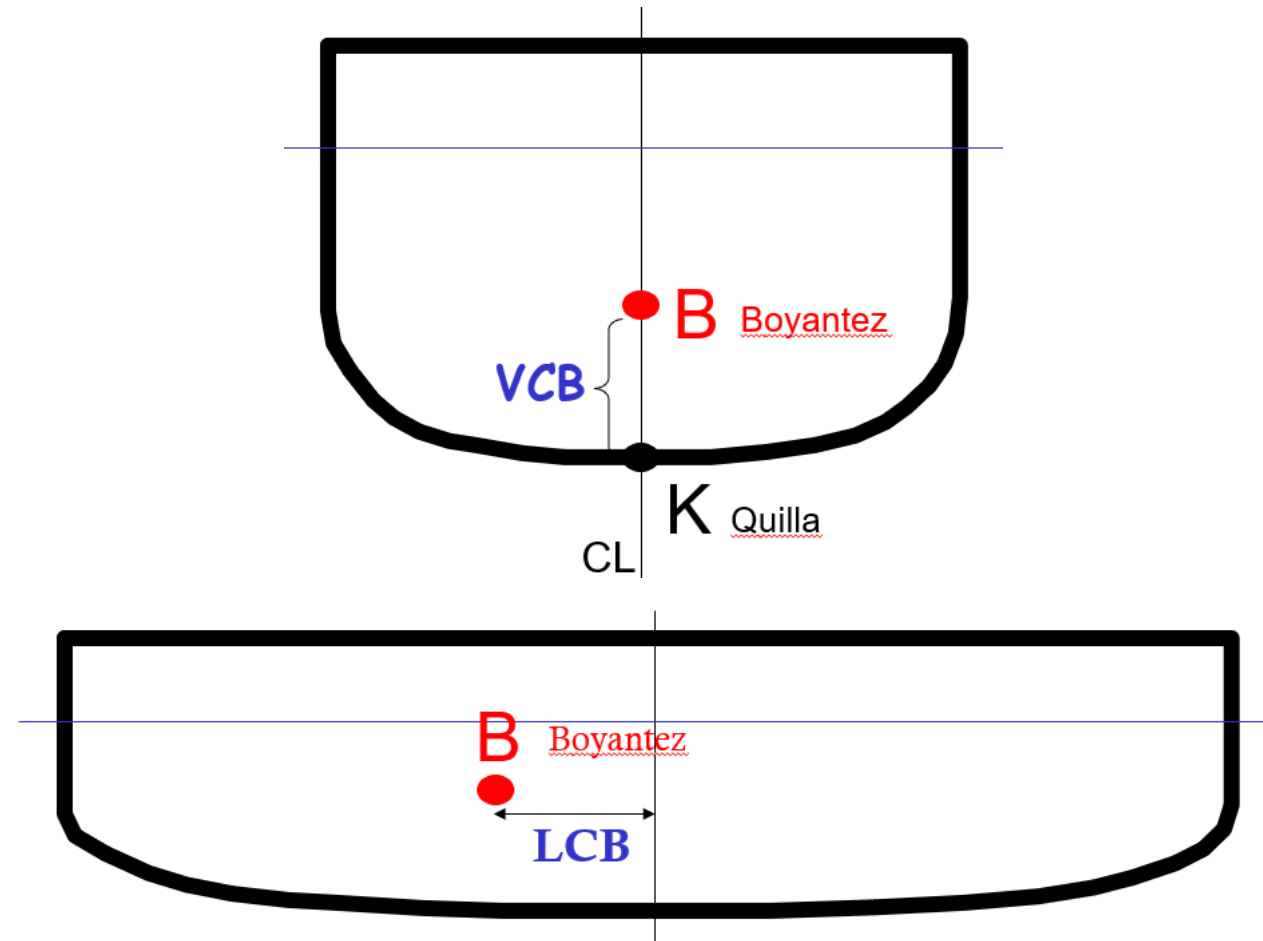
CENTRO DE BOYANTEZ

- Todas las fuerzas de Boyantez que actúan sobre la porción sumergida del casco de un buque se reducen a una fuerza resultante que actúa en este punto:
- Se encuentra situado en el interior del buque.
- Centroide del volumen sumergido del casco.
- Es el centro geométrico de la porción sumergida del casco
- Si el volumen del cuerpo sumergido varía, B también.



CENTRO DE BOYANTEZ

- La distancia vertical de la Boyantez, en relación la Línea Base, se denota VCB (KB).
- La distancia longitudinal del centro de Boyantez se mide a partir del eje de referencia longitudinal, que en algunos casos puede ser la sección media, la cuaderna maestra o el A_p y se denota LCB.
- Al centro de Boyantez transversal se le denomina TCB y se mide desde la línea de crujía.



CENTRO DE BOYANTEZ

- Cuando un buque pasa de un fluido a otro de distinta densidad, su calado variará, pero su masa no.
- Al cambiar la densidad del agua, también varía el volumen de agua desplazada.

$$m [kg] = v [m^3] * \rho \left[\frac{kg}{m^3}\right]$$

- Si la densidad del agua aumenta, el volumen de agua desplazada disminuirá y viceversa.



telemedellin.tv, 2023

RESERVA DE BOYANTEZ

- El volumen del casco que no se encuentra sumergido no está generando boyantez. Sin embargo, es la “reserva” para casos de aumento de calado.
- Reserva de Boyantez se define como el volumen del espacio que se encuentra sobre línea de flotación. Puede ser expresado como volumen, o como porcentaje total del volumen del buque.

