
UT 1

FUNDAMENTOS DE ESTABILIDAD

Catedra de Sistemas de Ingeniería

Profesores:

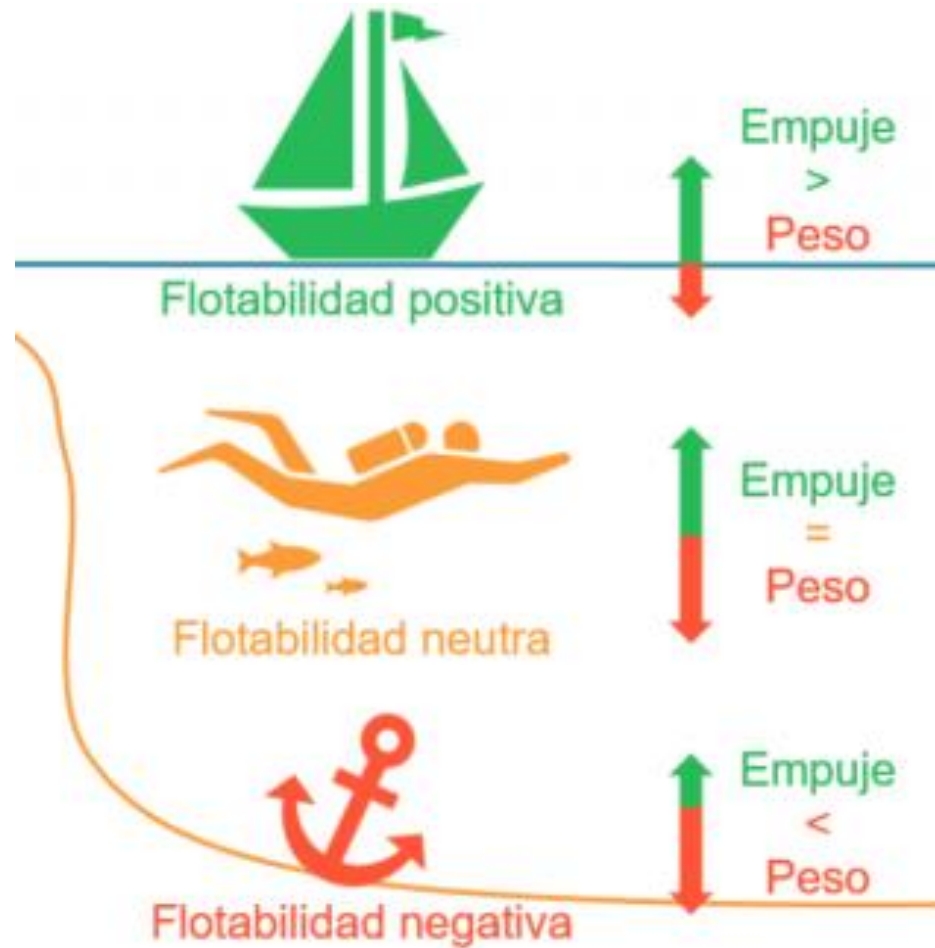
CC Sr. Matías Fisher Silva (4A, 3C y 3D)

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

Tercero y Cuarto Ejecutivo Escuela Naval - Primer semestre 2024

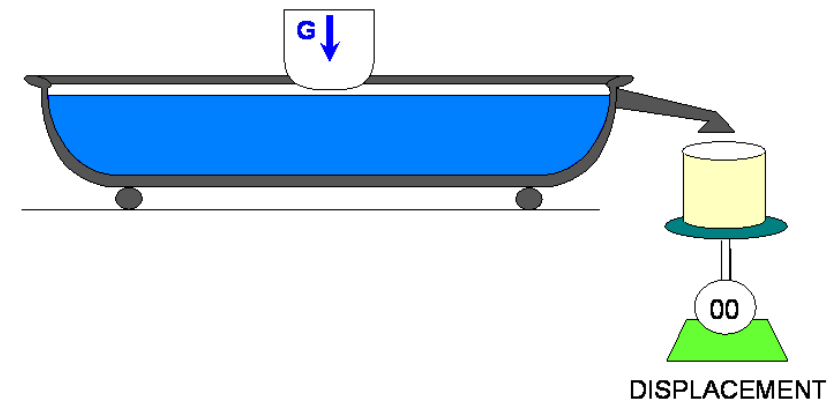


FLOTACIÓN



VOLUMEN SUMERGIDO

- La aplicación del principio de Arquímedes permite calcular el volumen sumergido del casco de un buque, si es que se conoce su desplazamiento y la densidad del medio en que flota; o conocer su desplazamiento si se conoce el volumen sumergido y la densidad del líquido en el que flota.



FLOTACIÓN

VOLUMEN SUMERGIDO - EJEMPLO 1

- Calcular el volumen sumergido de un buque de 10.000 toneladas, si la densidad del agua del mar es 1030 [kg/m³]
- Respuesta:

$$\Delta = \nabla * \rho$$

$$\therefore \nabla = \frac{\Delta}{\rho} = \frac{10.000 (t)}{1,030 \left(\frac{t}{m^3}\right)}$$

$$\therefore \nabla = 9708,74(m^3)$$

FLOTACIÓN

VOLUMEN SUMERGIDO - EJEMPLO 2

Una barcaza con la forma de cajón rectangular de $16 \text{ [m]} * 6 \text{ [m]} * 5 \text{ [m]}$, debe ser izada a bordo, por un pescante del buque. La barcaza se encuentra flotando en agua dulce, con un calado de $3,5 \text{ [m]}$.

- Encontrar la carga que sustenta el pescante del buque en toneladas, cuando la barcaza ha sido izada parcialmente y se encuentra con un calado de 2 [m] .

FLOTACIÓN

VOLUMEN SUMERGIDO - RESOLUCIÓN EJEMPLO 2

- La masa de agua dulce desplazada por la barcaza flotando libremente ($T = 3,5 [m]$) será:

$$\Delta_{flotando libre} = L * B * T * \rho_{fw}$$

$\Delta_{flotando libre} = 16 [m] * 6 [m] * 3,5[m] * 1 \left(\frac{t}{m^3}\right) = 336 [t]$ La masa de agua dulce desplazada con 2 metros de calado:

$$\Delta_{con 2 metros de calado} = 16 [m] * 6[m] * 2 [m] * 1\left[\frac{t}{m^3}\right] = 192 [t]$$

- Carga del pescante:

$$\Delta_{flotando libre} - \Delta_{con 2 metros de calado} = 336 [t] - 192[t] = 144 [t]$$

- Otra forma para calcular el esfuerzo del pescante con 2 [m] de calado =

$$Carga del pescante = 16 [m] * 6[m] * (3,5 [m] - 2 [m]) * 1\left[\frac{t}{m^3}\right] = 144 [t]$$

- Respuesta: **144 toneladas.**

RELACIÓN DE DENSIDAD vs CALADO Y DESPLAZAMIENTO

Efecto del cambio de densidad del agua cuando el desplazamiento es constante.

- Cuando un buque se mueve desde agua de una densidad a otra, cambiará su calado.
- Esto se debe a que el buque desplaza la misma cantidad de masa de agua en cada caso.
- Como cambia la densidad del agua, el volumen de agua desplazada también variará
 - $\text{masa} = \text{volumen} \times \text{densidad}$
 - Si la densidad del agua aumenta, el volumen de agua desplazada disminuirá para mantener la masa constante y viceversa.

RELACIÓN DE DENSIDAD V/S CALADO Y DESPLAZAMIENTO

- Para artefactos navales con casco de forma rectangular - Sea 1 para valores nuevos y 2 valores anteriores.

- $\text{masa de agua desplazada}_1 = \text{masa de agua desplazada}_2$

- $\nabla_1 * \rho_1 = \nabla_2 * \rho_2$

- $\frac{\nabla_1}{\nabla_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$

Pero Volumen es Eslora x Manga x Calado

- Luego:

$$\frac{L * B * T_1}{L * B * T_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

EJERCICIO

- Un artefacto naval de forma de caja tiene un calado medio de 2,1 metros. Flota en agua salada de densidad $1020 \text{ [kg/m}^3\text{]}$. Encontrar su calado medio, para un desplazamiento de misma masa, flotando en agua salada de densidad $1025 \text{ [kg/m}^3\text{]}$.

SOLUCIÓN

- $\frac{T_1}{T_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$

- $T_1 = \frac{\rho_2}{\rho_1} * T_2$

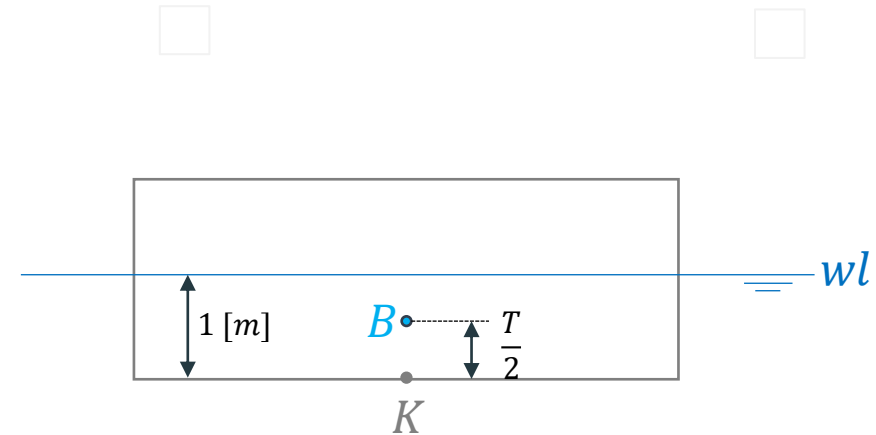
- $T_1 = \frac{1020 [\frac{kg}{m^3}]}{1025 [\frac{kg}{m^3}]} * 2,1 [m]$

- $T_1 = 2,09 [m]$

EJERCICIO 2

Un artefacto naval con forma de caja rectangular, flota adrizado en agua dulce ($\rho = 1000 [\frac{kg}{m^3}]$), con su centro de boyantez ubicado a 0,5 metros sobre la quilla. Encontrar la posición vertical del centro de boyantez, cuando la unidad está flotando en agua salada

- Recordar que el centro de boyantez es el centro geométrico del volumen sumergido. Para este caso $\overline{KB} = 0,5 T$



SOLUCIÓN 2

- En agua dulce, $\overline{KB} = 0,5 [m]$
- En agua salada, $T_{sw} = T_{fw} \times \frac{1000 [\frac{kg}{m^3}]}{1025 [\frac{kg}{m^3}]}$
- $T_{sw} = 1(m) \times \frac{1000 [\frac{kg}{m^3}]}{1025 [\frac{kg}{m^3}]} = 0,977 [m]$
- $\overline{KB}_{sw} = \frac{0,977 [m]}{2} = 0,488 [m]$

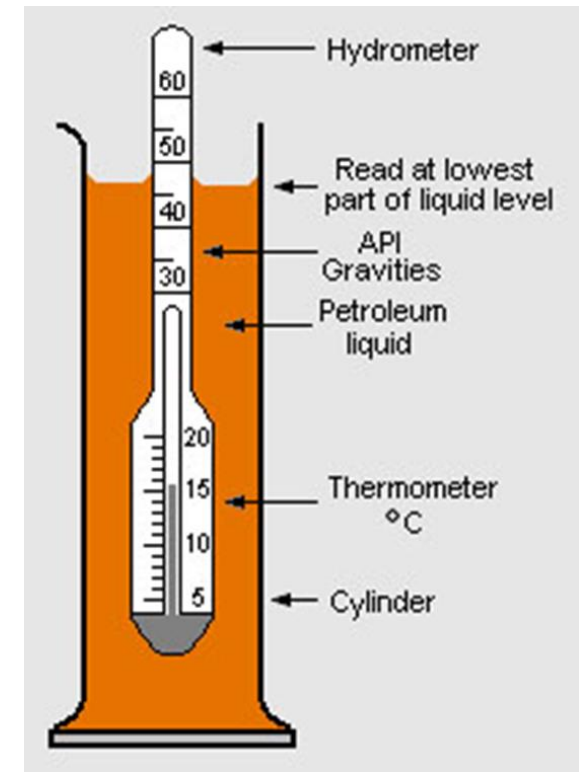
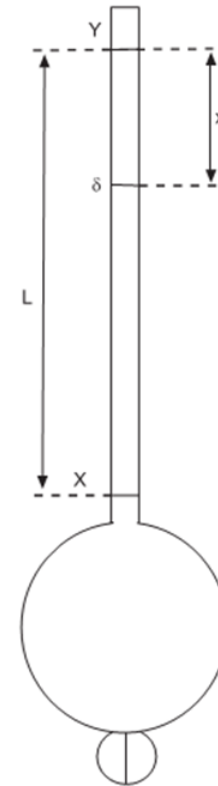
EJERCICIOS DE ESTUDIO

- ¿Qué cantidad de agua dulce desplazará un pontón cilíndrico de 3,5 metros de diámetro y 9 metros de eslora cuando está totalmente sumergido? a) ¿Cuál será su desplazamiento cuando está sumergido en agua salada? b) ¿Cuál sería la fuerza de boyantez que experimenta cuando se encuentra sumergido en agua salada? c) ¿Cuál será su desplazamiento cuando flota en agua salada, con su eje en la línea de agua?
 - Respuestas: a) 88.75 [t]; b) 870.68 [kN]; c) 44.38 [t].
- ¿Cuál es la reserva de flotabilidad de una barcaza de casco rectangular que mide 20' x 10' x 6' (L x B x T), flotando en agua salada con un calado de 3'? .
 - Respuesta: 600 [ft³] o 50%
- Una barcaza rectangular de 30' x 15' x 5' flota en agua dulce con un calado medio de 3'. Determinar: a) Su desplazamiento y calado en agua salada; b) la ubicación de su Centro de Carena o Boyantez (sobre la quilla) y su Centro de Flotación Longitudinal en agua salada.
 - Respuestas: a) 38.6 [t] y 3.075'; b) 1.537 [ft] y 15 [ft] de la popa, en línea de crujía.

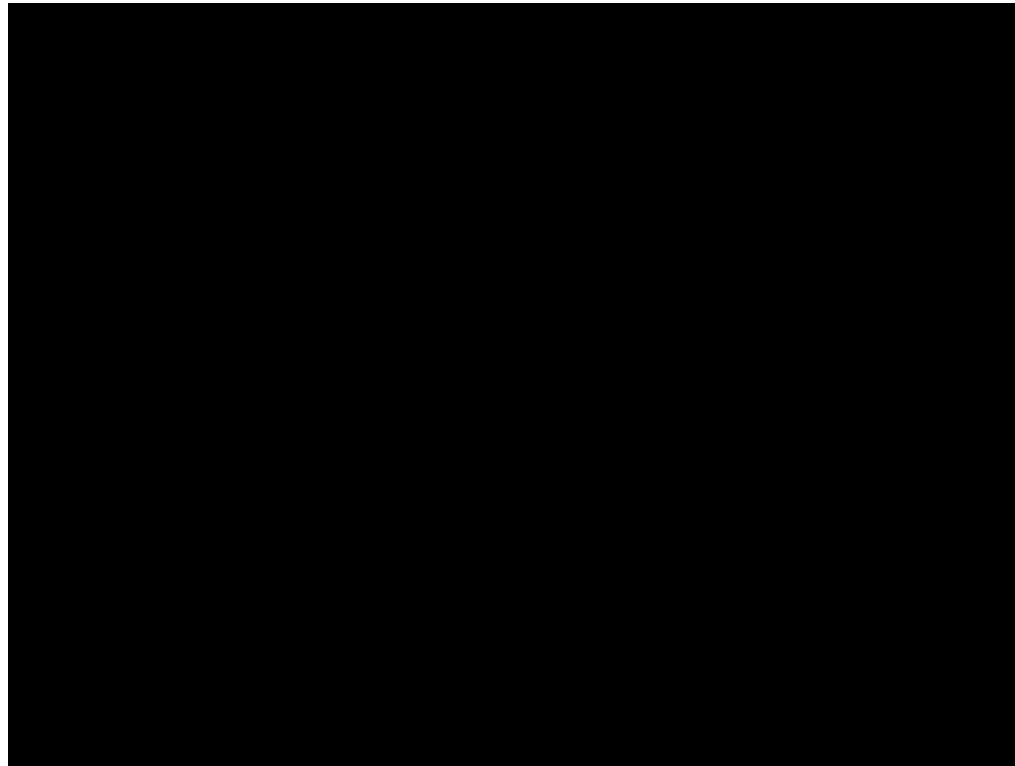
FLOTACIÓN

HIDRÓMETRO DE INMERSIÓN VARIABLE

- Es un instrumento utilizado para determinar la densidad de los líquidos, basando su funcionamiento en el principio de Arquímedes.
- Se usa para determinar la densidad del agua en la que flota un buque.
- Generalmente, está construido con materiales anticorrosivos y consiste de una base esférica lastrada, con un vástago rectangular graduado con una escala, la que permite leer la densidad del líquido.
- Mide densidades de entre 1000 y 1025 kilogramos por metro cúbico; es decir, 1,000 y 1,025 [t/m³].
- Hay diferentes tipos de hidrómetros.
- El procedimiento de medición, lo deben haber visto en un laboratorio de Física.



FORMA PRÁCTICA DE USO HIDRÓMETRO



FLOTACIÓN

RESERVA DE BOYANTEZ

El concepto llamado Reserva de Boyantez, representa la reserva de flotabilidad o flotabilidad de reserva.

- Si a una lámina de fierro se le doblan los extremos para darle la forma de una caja abierta, normalmente flotará en la superficie del agua.
- Si durante este proceso se decide inclinar la caja, dependiendo de cuán altos sean los bordes, el agua ingresará al área cerrada y la combinación de lámina + aire se convertirá en lámina + aire + algo de agua. (aumento de la densidad del conjunto cajón).
- Esto hará que la caja sea más pesada que el volumen de agua desplazado y la caja se hundirá.
- Para evitarlo, es necesario colocar una tapa impermeable en la caja abierta, objeto asegurarse de que no entre agua en el espacio abierto dentro de la caja y que la combinación hoja + aire permanezca intacta y la caja permanezca a flote.
- Con esto se ha creado una Flotabilidad de Reserva.

FLOTACIÓN

RESERVA DE BOYANTEZ

- Un buque en el mar flota en agua que puede ser calma o tormentosa.
 - Cuando navega, a veces las olas sobrepasan el casco (cubierta principal) en los extremos de la nave o en su centro.
 - En cualquiera de los casos, el buque tendría una tendencia a hundirse.
- Es por ello que es requisito que un buque tenga flotabilidad de reserva (Reserva de Boyantez), para enfrentar cualquier condición de mar y mantenga su densidad para mantenerse a flote.

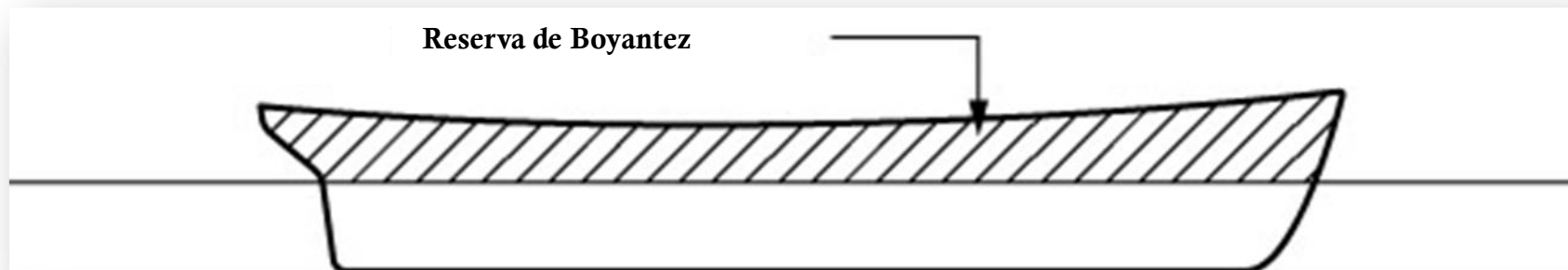
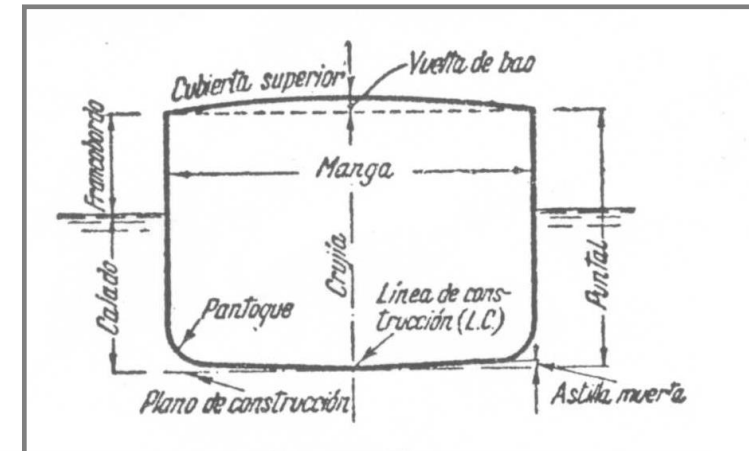
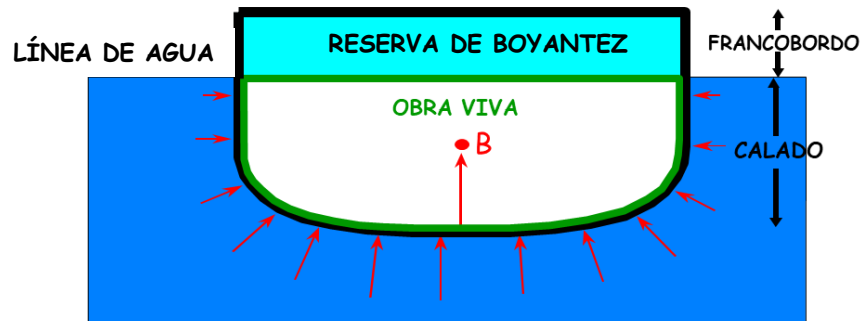
FLOTACIÓN

RESERVA DE BOYANTEZ

- Un cuerpo que flota desplaza un volumen de agua. Por ello, la parte sumergida del cuerpo flotante es la que le provee flotabilidad o boyantez.
- El volumen superior del casco (medido hasta la cubierta principal o cubierta estanca más alta) que se encuentra sobre la línea de agua, no está generando boyantez. Sin embargo, es la **reserva** para casos de aumento de calado por incremento de carga.
 - Si se agrega una carga adicional, el calado del buque aumentará, disminuirá su francobordo y la reserva de boyantez, pero será la Reserva de Boyantez remanente la que le permitirá al buque seguir flotado.
 - Si la carga adicional hace desaparecer el francobordo, el buque se hundirá.
- Por ello, la Reserva de Boyantez se define como el volumen del espacio del casco que se encuentra sobre la línea de agua.
 - Puede ser expresado como volumen o como porcentaje del total del volumen del buque.

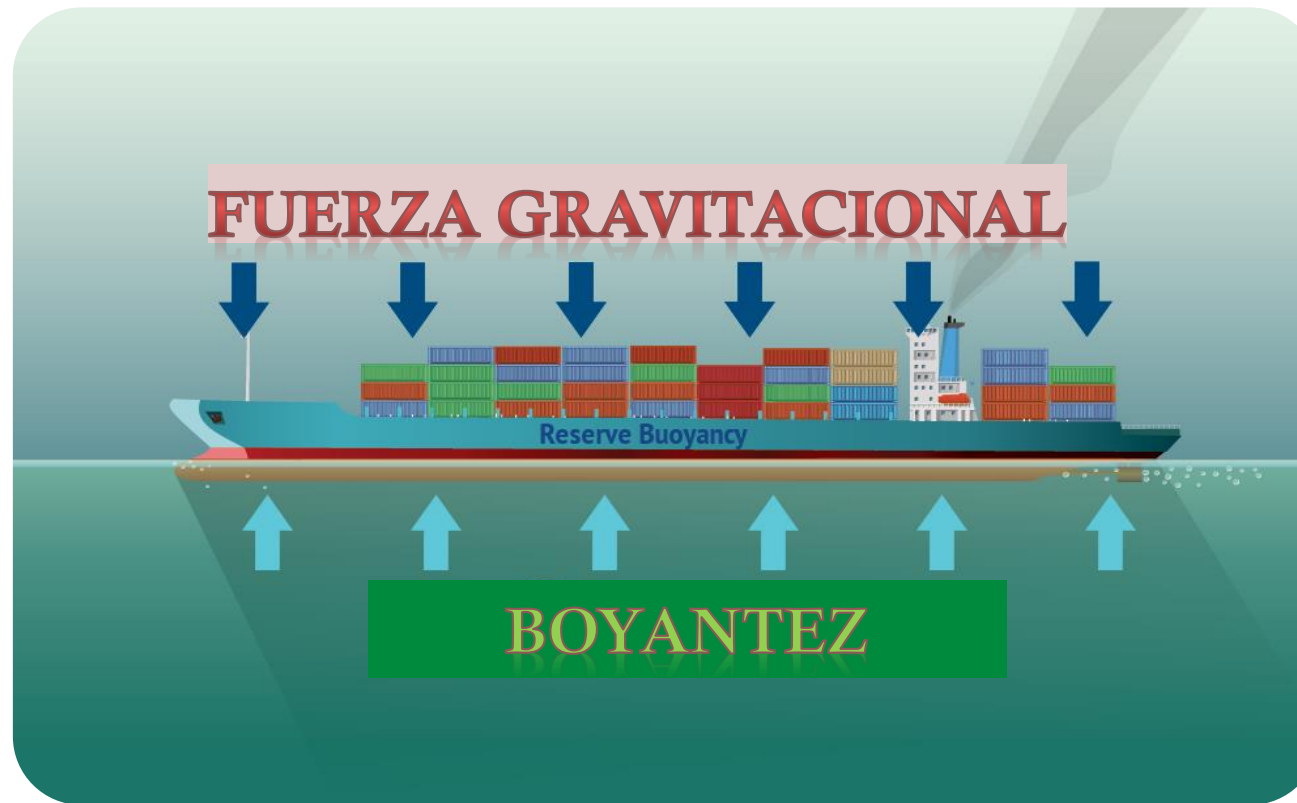
FLOTACIÓN

RESERVA DE BOYANTEZ O FLOTACIÓN



FLOTACIÓN

RESERVA DE BOYANTEZ



FLOTACIÓN

RESERVA DE BOYANTEZ - EJEMPLO 1

- Un buque con la forma de una caja rectangular tiene una eslora de 105 [m], una manga de 30 [m] y un puntal de 20 [m], se encuentra flotando adrizado en agua dulce. Su desplazamiento es de 19.500 [t]. Encontrar el volumen de la reserva de boyantez.

FLOTACIÓN

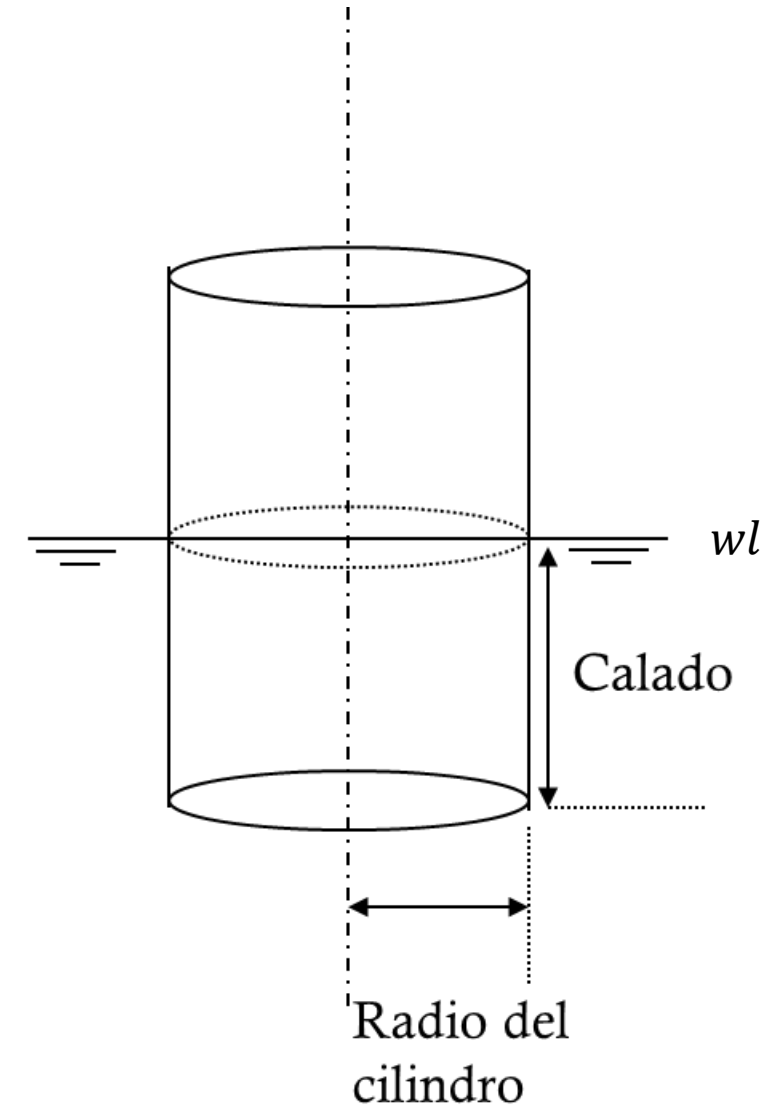
RESERVA DE BOYANTEZ - RESOLUCIÓN EJEMPLO 1

- *Volumen de agua desplazado* $= \frac{m [t]}{\rho [\frac{t}{m^3}]}$
$$\nabla = \frac{19.500 [t]}{1,000 [\frac{t}{m^3}]} = 19.500 [m^3]$$
- *Volumen del buque* $= 105 \times 30 \times 20 = 63.000 [m^3]$
- *Reserva de boyantez* $= \nabla_{Buque} - \nabla_{Agua desplazada}$
$$= 63.000 [m^3] - 19.500 [m^3]$$
- *Reserva de boyantez* $= 43.500 [m^3]$ ó 69%

FLOTACIÓN

RESERVA DE BOYANTEZ - EJEMPLO 2

- Un cilindro de 1,5 [m] de largo y 60 [cm] de diámetro tiene una masa de 20 [kg] cuando se encuentra vacío.
- Encontrar su calado en agua de densidad de 1024 [kg/m³], cuando en su interior contiene 200 [l] de kerosén de densidad relativa 0,6 y se encuentra flotado con su eje perpendicular a la línea de agua, como lo ilustra la figura adjunta.



FLOTACIÓN

RESERVA DE BOYANTEZ - RESOLUCIÓN EJEMPLO 2

- Nota; el cilindro desplazará la masa de agua equivalente a la masa del cilindro más la masa de kerosén.
- $Densidad\ kerosén = S_k \times 1.000 \left[\frac{t}{m^3} \right] = 600 \left[\frac{t}{m^3} \right]$
- $Masa\ del\ kerosen = Volumen_k \times \rho_k = 0,2 [m^3] \times 600 \left[\frac{kg}{m^3} \right] = 120 [kg]$
- Resolviendo:

$$Masa_{total} = Masa_k + Masa_t = 120 [kg] + 20 [kg] = 140 [kg]$$

$$Volumen\ de\ agua\ desplazada = \frac{Masa\ tambor}{\rho_{sw}} = \frac{140(kg)}{1024\left(\frac{kg}{m^3}\right)} = 0,137 [m^3]$$

$$Volumen\ sumergido\ del\ tambor = \pi * r^2 * T = \pi * (0,3 [m])^2 * T = 0,137[m^3]$$

$$T = \frac{0,137 [m^3]}{\pi * 0,3^2 [m^2]} = \frac{0,137 [m^3]}{0,287 [m^2]} = 0,477 [m] = 47,7 [cm]$$

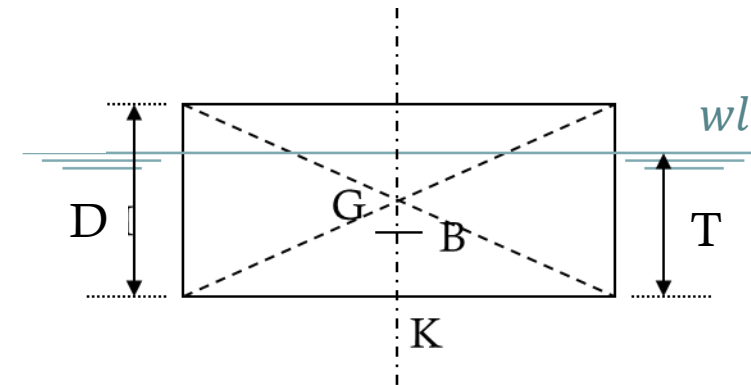
FLOTACIÓN

RESERVA DE BOYANTEZ - EJEMPLO 3

- Encontrar la distancia entre los Centros de Gravedad y Boyantez (ambos transversales) de un madero rectangular de 1,2 [m] de ancho, 0.6 [m] de alto y de una densidad relativa de 0,8 cuando flota en agua dulce con sus dos lados paralelos a la línea de agua.
- Nota: El centro de gravedad de un madero homogéneo está en su centro geométrico.

Respuesta:

$\overline{KG} : 0,3 \text{ (m)}; \overline{KB} : 0,24 \text{ (m)}$. Luego $\overline{BG} = 0,06 \text{ (m)}$



FLOTACIÓN

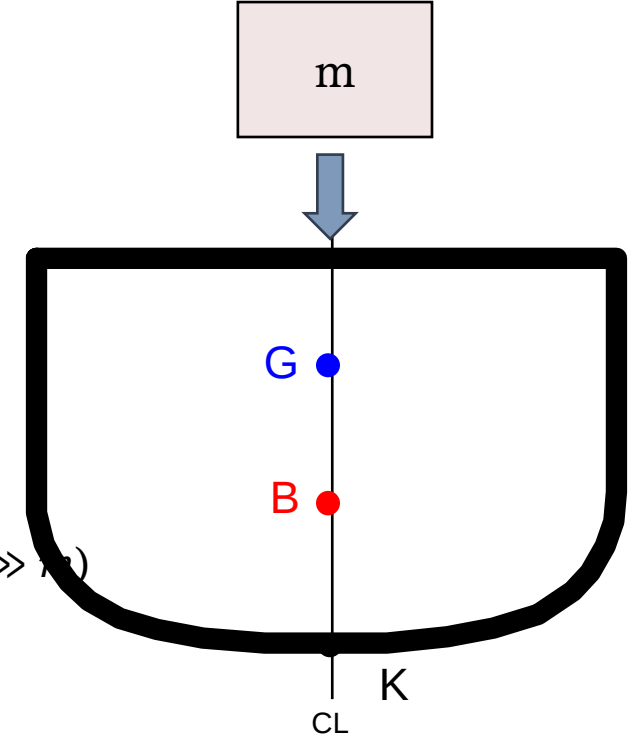
TONELADAS POR CENTÍMETRO DE INMERSIÓN

Buque en equilibrio (G verticalmente alineado con B)

- Agregamos una masa m , también verticalmente alineada con G y B:
- $\Rightarrow \Delta' = \Delta + m$
- * Asumir que el Área del Plano de Flotación se mantiene constante (lo cual es válido si $\Delta \gg m$)
- El cambio en el volumen de fluido desplazado será:

$$\delta \nabla = A_W * \delta T$$

$$\therefore m = \delta \nabla * \rho_w = A_W * \delta T * \rho_w$$



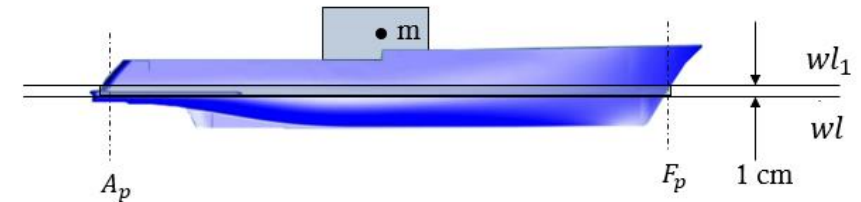
- Si tomamos un valor de $\delta T=1[\text{cm}]$, al valor requerido de m lo llamamos TPC (Toneladas por Centímetro de Inmersión).

FLOTACIÓN

TONELADAS POR CENTÍMETRO DE INMERSIÓN

- Las toneladas por centímetro de inmersión o TPC, se refiere a la masa que es necesario cargar o descargar en un buque para que su calado medio varíe 1 centímetro (hundimiento paralelo).
 - Su ecuación es:

$$TPC = \frac{A_W * \rho_w}{100} = A_W * \rho_w * 0,01$$



- Considerar un buque con una línea de flotación wl . Al agregar una masa de m toneladas, cuyo efecto en el buque sea incrementar su calado en 1 [cm], la nueva línea de agua será wl_1 .
- Esa masa es la necesaria para variar el calado en 1 [cm]. El volumen adicional de agua desplazada, equivale a la capa de agua contenida entre la línea original de agua del buque y la final o lo que es lo mismo, a las toneladas por centímetro de inmersión

EJEMPLO 1 COEFICIENTE PLANO FLOTACIÓN

- Un buque de 128 [m] de eslora y 20 [m] de manga en la línea de agua, tiene un coeficiente de fineza (C_w) de 0,85.
- Encontrar las TPC para ese calado en agua salada

$$A_W = L * B * C_W = 128 [m] * 20[m] * 0,85 = 2176 [m^2]$$

- $TPC = \frac{A_W * \rho_{sw}}{100} = 2176 [m^2] * 0,01 * 1,025 \left[\frac{t}{m^3} \right]$

- $TPC = 22,3 \left[\frac{t}{cm} \right]$

FLOTACIÓN

TONELADAS POR CENTÍMETRO DE INMERSIÓN

$$TPC_{sw} = \frac{1,025}{100} * A_w = \frac{A_w}{97.56}$$

$$TPC_{fw} = \frac{1,000}{100} * A_w = \frac{A_w}{100}$$

FLOTACIÓN

TPC EN AGUAS DE DISTINTA DENSIDAD

- Cuando un buque se encuentra flotando en aguas de densidad relativa diferente de 1,025, la masa que es necesario agregar o quitar para cambiar su calado en 1 [cm], se puede encontrar empleando la siguiente proporción:

$$\frac{TPC_{xw}}{TPC_{sw}} = \frac{S_{xw}}{S_{sw}}$$

⇒

$$TPC_{xw} = \frac{S_{xw} * TPC_{sw}}{1,025}$$

FLOTACIÓN

TONELADAS POR PULGADA DE INMERSIÓN

- Se refiere a la cantidad de toneladas que es necesario agregar o quitar de un buque para que éste cambie su calado en 1 pulgada.
- En agua salada será:

$$TPI = \frac{A_W [ft^2]}{35 \left[\frac{ft^3}{LT} \right]} * \frac{1 [ft]}{12 [in]}$$

$$TPI = \frac{A_W}{420} \left[\frac{LT}{in} \right]$$

- Se asume que, para pequeños cambios de calado, los costados del buque son prácticamente verticales.
- Salvo que se indique lo contrario, las curvas entregarán siempre TPI para agua salada.

FLOTACIÓN

TONELADAS POR PULGADA DE INMERSIÓN

- Para agua dulce, las TPI serán:

$$TPI_{fw} = \frac{35}{36} * TPI$$

- Cuando los cascos no son verticales en la variación de calados, las ecuaciones indicadas generan un error.
- Para evitarlo, deben emplearse las curvas y así lograr una mayor precisión las TPI o TPC
- Para ingresar a las curvas siempre se emplea el calado medio.

FLOTACIÓN

EJERCICIOS DE ESTUDIO

1. Un tambor cilíndrico de masa 14 [kg] cuando está vacío, tiene un largo de 75 [cm], y un diámetro de 60 [cm]. Encontrar su calado en agua de mar, cuando ha sido llenado con 200 [l] de kerosén, de densidad relativa 0,63.
2. Un cubo de madera de densidad relativa 0,81 tiene lados de 30 [cm] de largo. Si se coloca una masa de 2 [kg] en su parte superior, con el Centro de Gravedad verticalmente sobre el del cubo, encontrar su calado en agua de mar.
3. Un estanque rectangular (3 [m] x 1,2 [m] x 0,6 [m]) que no tiene cubierta superior (está abierto), está flotando en agua dulce con un calado de 15 [cm]. Calcular la máxima cantidad de agua dulce con que se puede cargar, antes de que se hunda.
4. Una boya de salvataje cilíndrica de 5 [m] de largo y 2,4 [m] de diámetro, está flotando sobre su quilla con el eje longitudinal paralelo a la línea de agua. Encontrar la fuerza de levante que produce cuando se encuentra totalmente sumergida.

FLOTACIÓN

EJERCICIOS DE ESTUDIO

5. Un madero homogéneo de sección rectangular tiene 30 [cm] de ancho y 25 [m] de alto. Cuando se encuentra flotando tiene un calado de 17 [cm]. Encontrar su Reserva de Boyantez y la distancia entre su Centro de Boyantez y de Gravedad.
6. Un madero homogéneo de sección rectangular de 5 [m] de largo, 60 [cm] de ancho y 40 [cm] de alto, flota en agua dulce con un calado de 30 [cm]. Encontrar la masa del madero y su densidad relativa.
7. Un madero homogéneo de 3 [m] de largo, 60 [cm] de ancho y 60 [cm] de alto tiene una densidad relativa de 0,9. Encontrar la distancia entre su Centro de Boyantez y de gravedad, cuando se encuentra flotando en agua dulce.
8. Un madero homogéneo de sección rectangular 5 [m] x 1 [m] x 1 [m] (L x B X T), tiene una densidad relativa de 0,51 y flota medio sumergido en un fluido. Encontrar la densidad del fluido.

FLOTACIÓN

EJERCICIOS DE ESTUDIO

9. Un artefacto naval de sección con forma de caja mide 20 [m] x 6 [m] x 2,5 [m] y flota con un calado de 1,5 [m] en agua de densidad 1010 kg/m³. Encontrar su desplazamiento en toneladas y la altura del centro de boyantez sobre la quilla.
10. Un tambor cilíndrico vacío de 1 [m] de largo y 0,6 [m] de diámetro tiene una masa de 20 [kg]. Encontrar la masa que se ha colocado dentro de él, si es que flota a medio volumen a) En agua de mar y b) En agua dulce.
11. Un madero homogéneo de densidad relativa 0,81 se encuentra flotando en agua dulce y es de 3 [m] de largo y su sección transversal es cuadrada de 0,5 [m]. Encontrar el desplazamiento del madero y la distancia entre su centro de boyantez y su centro de gravedad.
12. Una barca de sección transversal tipo caja mide 55 [m] x 10 [m] x 6 [m] (L x B X T) y se encuentra flotando en agua dulce, con la quilla paralela al agua y con un calado de 1,5 [m]. Encontrar cuanto se desplaza su centro de boyantez y la distancia recorrida, si se le agregan 1800 [t] de carga.

FLOTACIÓN

EJERCICIOS DE ESTUDIO

13. Una barca de sección transversal de 75 [m] x 6 [m] x 4 [m] tiene un desplazamiento liviano de 180 [t]. Si se le cargan 360 toneladas de hierro, con la barca flotando en agua dulce, encontrar su calado final y su reserva de boyantez (o reserva de flotabilidad)
14. Un tambor de 60 [cm] de diámetro y 1 [m] de largo tiene una masa de 30 [kg] cuando está vacío. Si el tambor se llena de aceite de densidad relativa 0,8 y se encuentra flotando en agua dulce, encontrar el porcentaje de su reserva de boyantez o flotabilidad

FIN UNIDAD TEMÁTICA 1

FUNDAMENTOS DE ESTABILIDAD

Gracias

