
UA 1

FUNDAMENTOS

DE ESTABILIDAD

Catedra de Sistemas de Ingeniería

Profesores:

CC Sr. Matías Fisher Silva (3C)

PC Alberto García Covacevich (3A y 3B)

Tercer Año Ejecutivo Escuela Naval -
Primer semestre 2026



REPASO DE MASA, PESO, VOLUMEN Y DENSIDAD



FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

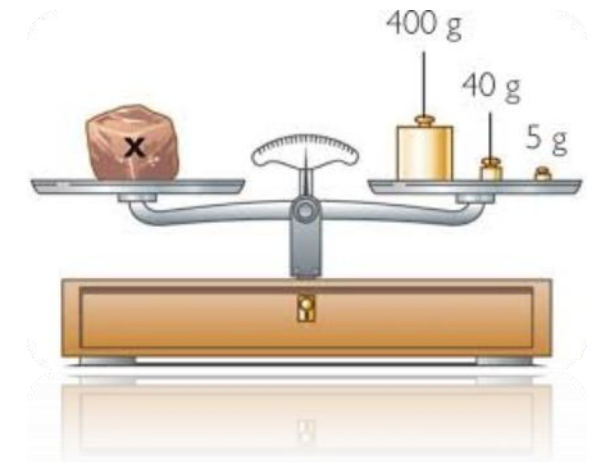
Sistemas de Unidades

- Sistema Internacional (SI)
 - Newton (fuerza), kilogramo (masa), metro (longitud), segundo (tiempo)
- Sistema Imperial (Británico)
 - Libra fuerza (lb_f) y libra masa (lb_m)
- Sistema Gravitacional Inglés
 - Sistema libras – slug
 - Libras (fuerza), slug (masa), pie (longitud), segundo (tiempo)

FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

Masa

- Magnitud física fundamental, que indica la cantidad de materia contenida en un cuerpo
- La unidad de medida de la masa, según el S.I. (Sistema Internacional de Unidades) es el kilogramo (kg)
- En el Sistema Imperial (EE.UU.) es la libra masa (lb_m), hoy cada vez menos utilizado
- En el SGI (Sistema Gravitacional Inglés) es el $slug$ ($\frac{lb\ s^2}{ft}$), utilizado por EE.UU. en Arquitectura y Construcción Naval



$$1\ slug = 14.59\ kg$$

FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

Peso

- Fuerza que depende de la atracción gravitacional
- El peso, dado que es una fuerza, se mide en Newton (N) en el S.I., o en libras (lb) en el Sistema Imperial
- Puede ser calculado multiplicando la masa por el valor de la aceleración de la gravedad

$$P = \vec{F} = m * \vec{a}$$



FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

Masa

- Cantidad de materia que posee un cuerpo
- Propiedad característica de cada cuerpo
- Mide la tendencia que tienen los objetos a conservar su estado de movimiento o de reposo
- Se mide con una balanza.
- Su unidad en el SI es el kg
- Es una magnitud escalar

Peso

- Fuerza con que la Tierra interacciona con un cuerpo
- No es una propiedad característica de los cuerpos
- Depende del lugar en el que está situado el objeto
- Se mide con el dinamómetro
- Su unidad en el SI es el N
- Es una magnitud vectorial

FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

Volumen

- Representa el espacio ocupado por un cuerpo
- El volumen es una magnitud escalar, que se obtiene multiplicando las longitudes de las 3 dimensiones del espacio
- Su unidad de medida en el sistema internacional es el metro cúbico (m^3). En el SGI es el pie cúbico (ft^3)

FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

Densidad

- Es la cantidad de masa por unidad de volumen
- Se obtiene dividiendo la masa por el volumen ($\frac{m}{V} = \rho$). Haciendo el análisis dimensional de la fórmula, se obtiene que la unidad de medida es kg/m^3 o lb/ft^3 (o múltiplos y submúltiplos equivalentes)
- Es una propiedad de la materia, ya sea al estado sólido, líquido o gaseoso. Podemos interpretar esta definición como el grado de compactación de un material
- Ejemplo: agua y mercurio
 - 1 gramo de agua dulce ocupa un volumen de 1 cm^3 y pesa casi 10 N
 - El mismo volumen (1 cm^3) es ocupado por $13,6\text{ g}$ de mercurio y pesa aproximadamente 136 N . Es decir, la densidad del mercurio es casi 14 veces mayor que la del agua dulce

FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

Densidad de un fluido

- La densidad del fluido es la masa por unidad de volumen y se denota con la letra griega ρ (rho)
 - Sus dimensiones son masa por longitud al cubo o $\frac{M}{L^3}$
 - En el sistema gravitacional inglés usa el *slug* para la unidad de masa y *pie* para la longitud
 - Las unidades de densidad en el sistema inglés son $\frac{slug}{ft^3}$ o $lb * \frac{s^2}{ft^4}$
 - La unidad de densidad en el sistema SI es $\frac{kg}{m^3}$
 - La equivalencia es $1 \frac{slug}{ft^3} = 515,363 \frac{kg}{m^3}$
 - La densidad del agua dulce es $1,94 \frac{slug}{ft^3}$ o $1000 \frac{kg}{m^3}$ ($1 \frac{gr}{cm^3}$)
-

FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

Densidad

- SI:

- La densidad de masa del agua dulce es 1000 kg/m^3 o 1 t/m^3
- La densidad de masa del agua salada es 1025 kg/m^3 o $1,025 \text{ t/m}^3$

- SGI:

- La densidad del agua dulce es de $1,94 \text{ slug/ft}^3$
- La densidad del agua salada es de $1,99 \text{ slug/ft}^3$

UK: long ton = LT = 1016,04 kg
USA: short ton = tn = 907.184 kg
SI: metric ton (tonne) = t = 1000 kg

- Sistema Imperial:

- La densidad de masa del agua dulce es 62 lb/ft^3 o $36 \text{ ft}^3/\text{LT}$
- La densidad de masa del agua salada es 64 lb/ft^3 o $35 \text{ ft}^3/\text{LT}$

FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

Peso específico

- Peso específico, a veces denominado peso unitario, el peso del fluido por unidad de volumen. Se denota con la letra griega γ (gamma) y sus dimensiones son de fuerza por unidad de volumen
 - Sus unidades en el sistema SI son N/m^3 o kg/m^2s^2 y en el Sistema Imperial lb/ft^3
 - El peso específico y la densidad del fluido se relacionan por la aceleración de la gravedad, $\gamma = \vec{g} * \rho$
 - Analizando ambos sistemas de unidades, el peso específico del agua dulce es:
 - $\gamma = 9,81 * 1000 kg/m^3 = 9810 N/m^3$ (SI)
 - $\gamma = 32,17 * 1,94 slug = 62,41 \frac{lb}{ft^3}$ (Sistema Imperial $g = 32,17 (ft/s^2)$)

FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

Gravedad específica (S)

- GE o densidad relativa de una sustancia está definida como la razón existente entre la masa de una sustancia y la masa de igual volumen de agua dulce
- Si se considera el volumen de un metro cúbico, entonces la gravedad específica o densidad relativa de una sustancia será la relación entre la densidad de la sustancia y la del agua dulce:

- $GE \text{ sustancia} = \frac{\text{Densidad de la sustancia}}{\text{Densidad del agua dulce}} = \frac{\rho_s}{\rho_{H_2O}} = \frac{m_s}{m_{H_2O}}$

- La densidad de agua dulce es 1000 kg por metro cúbico

- $GE \text{ sustancia} = \frac{\text{Densidad de la sustancia}}{1.000} \text{ (adimensional)}$

- $\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = 1000 \times \text{Gravedad específica}$

$$GE = DR = S$$

FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

Ejemplo 1

- Encontrar la densidad relativa (S) del agua salada, cuya densidad es 1025 kg/m^3

- $S = \frac{\text{Densidad agua salada}}{1000}$

- $S = \frac{1025 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}$

- $\text{Densidad relativa agua salada} = 1,025$

FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

Ejemplo 2

Encontrar la densidad de un combustible cuya densidad relativa es 0,92

- $Densidad = 1000 \times GE$
- $Densidad = 1000 \times 0,92$
- $Densidad Combustible = 920 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

Ejemplo 3

Cuando un estanque de doble fondo está lleno de agua dulce, contiene 120 toneladas de agua. Encontrar qué cantidad (masa) de aceite de densidad relativa 0,84 puede contener en las mismas condiciones anteriores

- $Densidad\ relativa = \frac{Masa\ aceite}{Masa\ agua}$
- $Masa\ aceite$
 $= masa\ agua \times densidad\ relativa$
- $Masa\ aceite = 120 \text{ (t)} * 0,84$
- $Masa\ aceite = 100,8 \text{ (t)}$

FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

PREFIJO SÍMBOLO FACTOR

Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
kilo	k	10^3
hecto	h	10^2
deca	da	10^1
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}

FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

Ejercicios de estudio

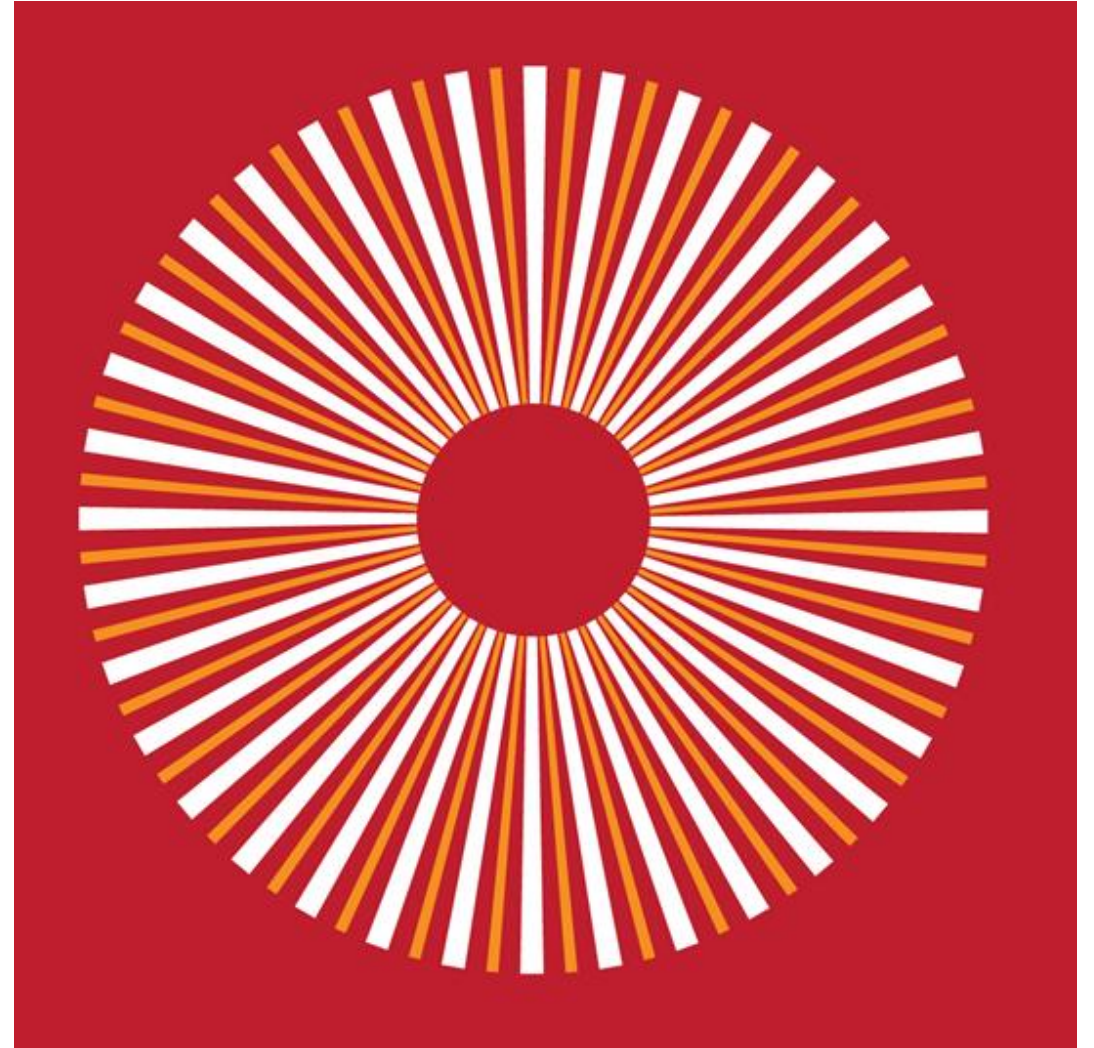
1. Un estanque tiene una capacidad máxima de 120 toneladas de agua dulce. Encontrar cuántas toneladas de aceite de densidad relativa 0,84 puede contener, dejando un 2 % de espacio en volumen dentro del mismo para expansión del aceite
2. Un estanque, cuando se encuentra lleno, contiene 130 toneladas de agua salada. Encontrar cuántas toneladas de aceite de densidad relativa 0,909 puede contener, dejando un espacio de un 1 % para fines de expansión
3. Un estanque que mide $8\text{ m} \times 6\text{ m} \times 7\text{ m}$ está siendo llenado con aceite de densidad relativa 0,9. Encontrar cuántas toneladas de aceite caben dentro del estanque, dejando 3 metros de espacio entre el nivel de aceite y el techo del estanque

FÍSICA APLICADA A LA ESTABILIDAD

Ejercicios de estudio

4. Se descarga aceite de densidad relativa 0,75 dentro de un estanque de medidas $6\text{ m} \times 4\text{ m} \times 8\text{ m}$, dejando un espacio entre el nivel del aceite y el techo del estanque de 2 metros. Calcular la cantidad de toneladas de aceite que contiene el estanque, una vez terminada la faena de descarga
5. Un estanque contiene 100 toneladas de agua dulce cuando está completamente lleno. Encontrar cuántas toneladas de aceite de densidad relativa 0,85 puede almacenar, dejando un 2% de volumen del estanque libre para expansión

REPASO DE CENTROIDES

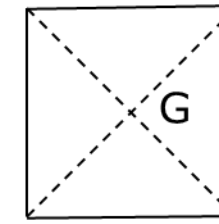


CENTROIDES

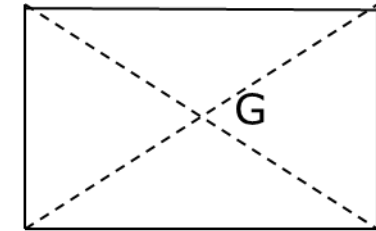
- Un centroide es el centro geométrico de un cuerpo
- Existen centros de:
 - Área
 - Masa
 - Volumen
 - Fuerza
 - Boyantez
 - Flotación
- El centro de área de una figura geométrica es el punto central de la misma
- El centro de masa es un punto en el que se asume concentrada la masa y normalmente se le conoce como centro de gravedad (G)
- El centro de área y el de masa coinciden cuando un cuerpo es de masa uniforme

CENTROIDES

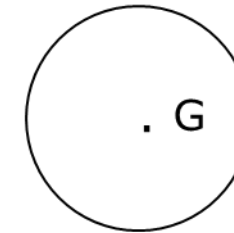
- Centros Geométricos de cuerpos uniformes
 - Un Centroide de un área es su centro geométrico
 - Las siguientes figuras representan figuras uniformemente distribuidas
 - “G” representa los centroides de las mismas
 - Si estuviesen suspendidas desde estos puntos, estarían en balance o equilibrio



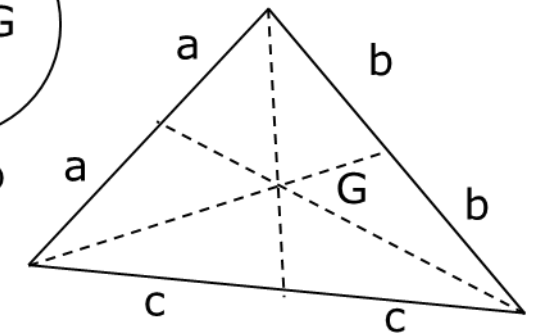
Cuadrado



Rectángulo



Círculo

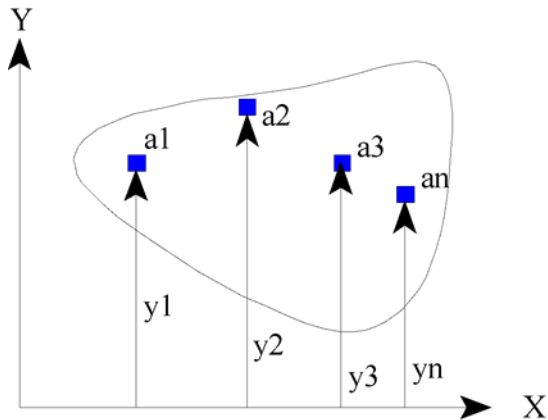


Triángulo

Centroide (Centro geométrico) = Centro de gravedad (Centro de masa)

CENTROIDES

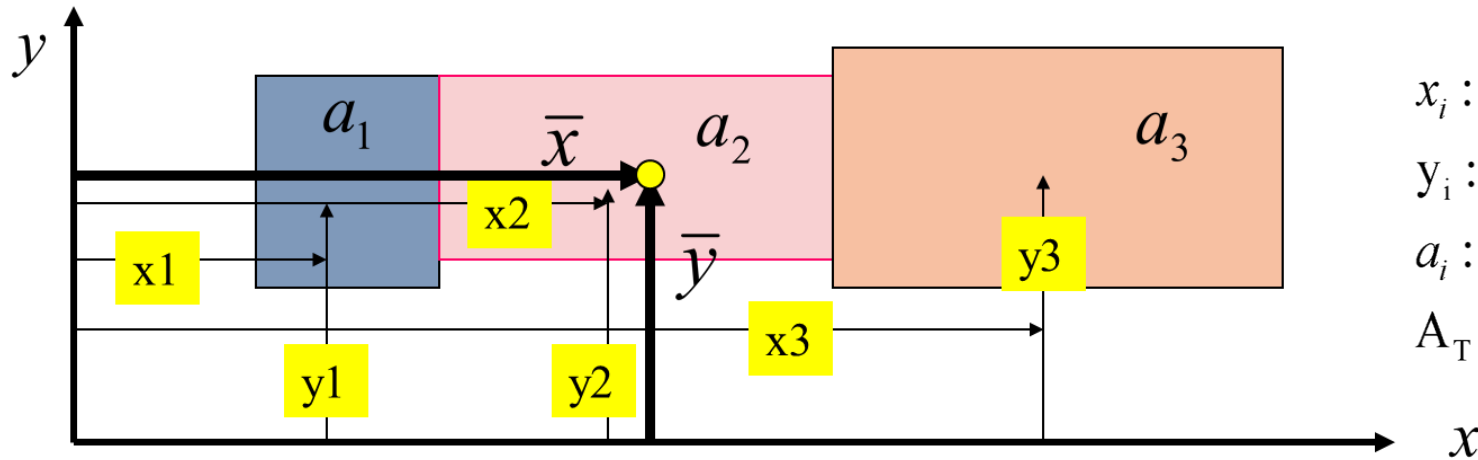
- Los Centros Geométricos y los Centros de Masa se pueden determinar mediante el cálculo del promedio ponderado



$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} (y_i a_i)}{\sum_{i=1}^{\infty} a_i}$$

$$\bar{y} = \frac{y_1 a_1 + y_2 a_2 + y_3 a_3 + \cdots + y_{n-1} a_{n-1} + y_n a_n}{a_1 + a_2 + a_3 + \cdots + a_{n-1} + a_n}$$

CENTROS DE ÁREA



x_i : distancia desde eje y al centro geométrico del área i

y_i : distancia desde eje x al centro geométrico del área i

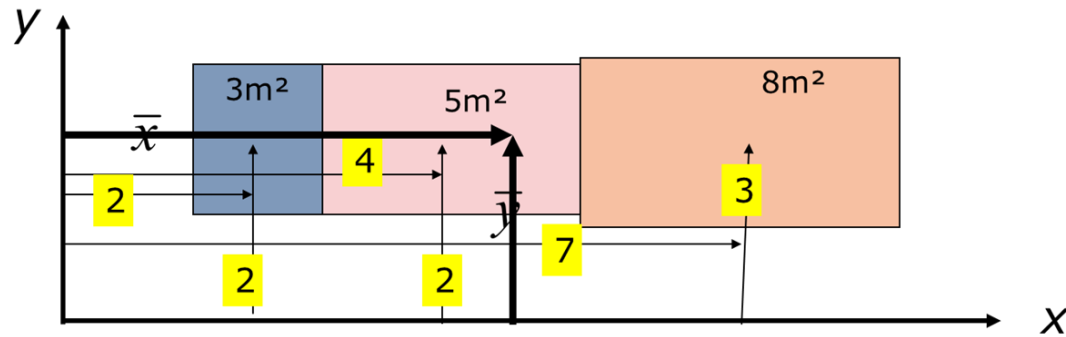
a_i : área diferencial i

$$A_T = a_1 + a_2 + \dots + a_n$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i a_i}{A_T} = \sum_{i=1}^n x_i \left[\frac{a_i}{A_T} \right]$$

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

CENTROS DE ÁREA - EJEMPLO



$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i a_i}{A_T} = \sum_{i=1}^3 y_i \left[\frac{a_i}{A_T} \right] = \dots = \frac{40m^3}{16m^2} = 2,5m$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i a_i}{A_T} = \sum_{i=1}^n x_i \left[\frac{a_i}{A_T} \right] = \frac{3m^2 \times 2m + 5m^2 \times 4m + 8m^2 \times 7m}{3m^2 + 5m^2 + 8m^2} = \frac{82m^3}{16m^2}$$

$= 5.125m$ desde el eje y

CENTROS DE FUERZA O DE GRAVEDAD

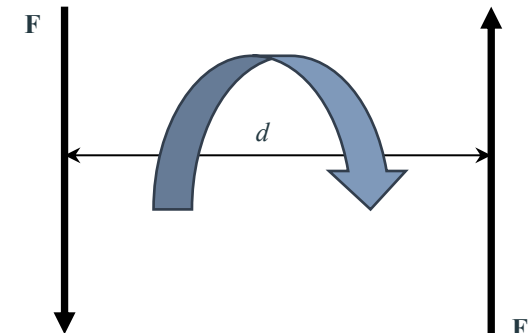
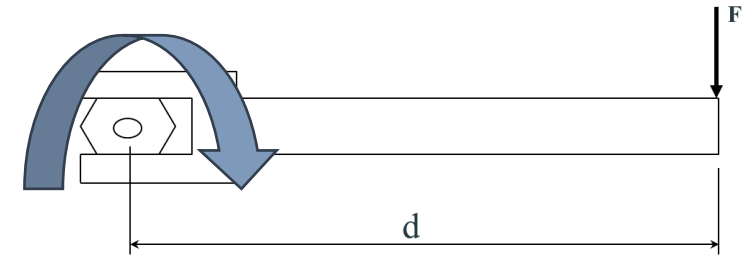
- Se calcula en forma similar al del área:

$$CG = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} (x_i \times F_i)}{\sum_{i=1}^{\infty} F_i} = \frac{x_1 \times F_1 + x_2 \times F_2 + \dots}{F_1 + F_2 + \dots}$$

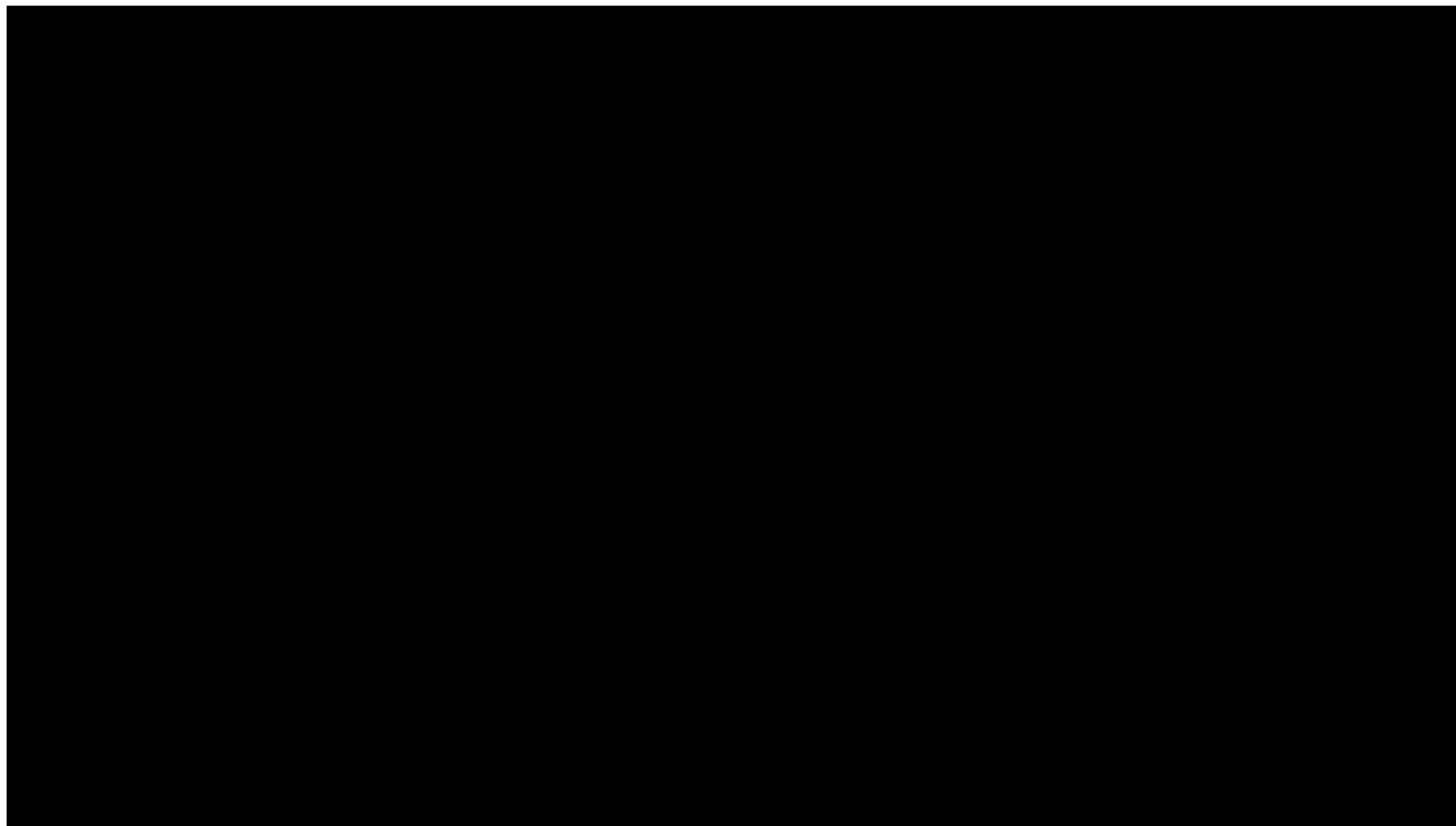
- En estabilidad, este método se utiliza para obtener la ubicación de:
 - Posición longitudinal del centro de flotación (LCF)
 - Posición longitudinal del centro de boyantez (LCB)
 - Centros de gravedad (longitudinal (LCG), transversal (TCG) y vertical (VCG o $\overline{KG}$)
- Estos serán definidos y ejercitados más adelante.

TORQUE O MOMENTO Y CUPLA O PAR

- Torque o momento:
 - Torque = Fuerza por distancia = $\vec{F} * d$
 - Ejemplo de un momento aplicado con una llave
 - Al aumentar $\vec{F}$, aumenta la magnitud del momento sobre la tuerca.
 - Sentido horario; por lo tanto, positivo
- Cupla o par:
 - Dos fuerzas iguales y contrarias, separadas por una distancia crean una cupla o un par.
 - La magnitud de la cupla o par se calcula multiplicando la magnitud de una de las fuerzas por la distancia que las separa.
 - Las dos fuerzas deben ser iguales en magnitud y opuestas en dirección para una rotación pura sin traslación.



REPASO DEL PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES



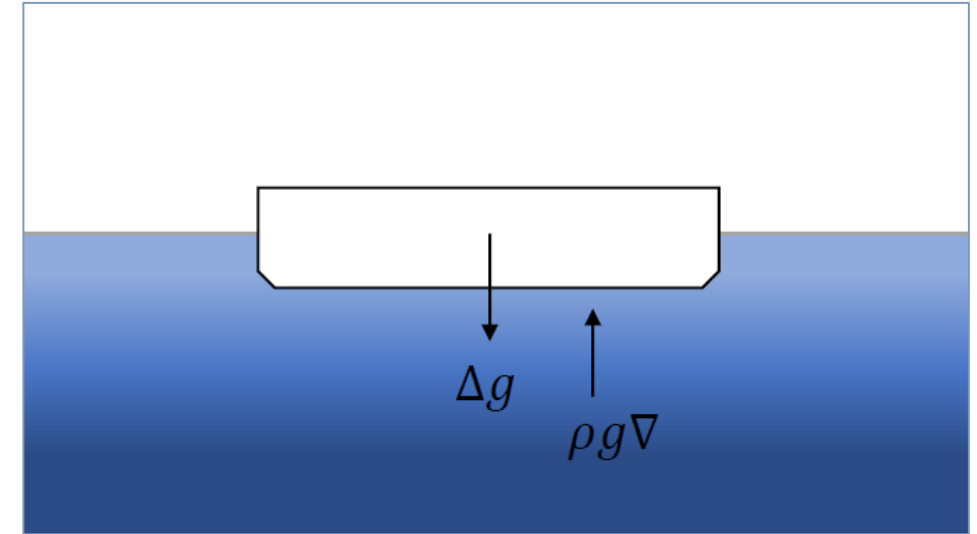
Ejercitación en clases

<https://www.pbs.org/wgbh/nova/lasalle/buoyancy.html>

PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

Arquímedes de Siracusa, escribió alrededor del 250 A.C. “Sobre la Esfera y el Cilindro”

Un cuerpo sumergido (total o parcialmente) en un fluido, experimenta una fuerza de empuje hacia arriba de igual magnitud y sentido opuesto al peso del fluido desplazado



$$\Delta \cdot \vec{g} = \rho \cdot \vec{g} \cdot \nabla$$

$$\Delta = \rho \cdot \nabla$$

EL BUQUE Y SUS DIMENSIONES

DESPLAZAMIENTO

- El principio de Arquímedes demuestra que la masa de un objeto flotando en un fluido es igual a la masa del volumen del fluido que desplaza la parte sumergida del mismo
 - Hay una relación directa entre el peso del objeto y el volumen de su parte sumergida
 - A cada peso del objeto, le corresponde un único y determinado valor de volumen sumergido
 - Aplicado el principio al buque, donde su peso se denomina “Desplazamiento” (Δ) por el agua que desplaza su casco; a cada valor del desplazamiento, le corresponde un solo valor de volumen sumergido. En otras palabras, un y sólo un calado medio
-

EL BUQUE Y SUS DIMENSIONES

DESPLAZAMIENTO

- El Desplazamiento del Buque se define como:

$$\Delta = V_{sumergido} * \rho_{sw}$$

- Representa la masa del agua desplazada por este volumen
 - La unidad utilizada es toneladas métricas. En el Sistema Imperial, toneladas largas (en inglés, *long tons*)
- Conocido el calado medio de un buque se puede determinar su desplazamiento

EL BUQUE Y SUS DIMENSIONES

DESPLAZAMIENTO

- A un buque con un calado medio determinado; si se le agrega o quita masa, se hundirá o aflorará hasta otro calado medio
 - Conocidos ambos calados, se pueden calcular sus desplazamientos y haciendo la resta entre ambos, podremos saber la masa que hemos agregado o quitado de a bordo
 - Es decir, que a partir de dos situaciones de carga diferente - dos calados medios diferentes - es posible deducir qué peso (masa) se ha cargado o se ha descargado del buque en el que se ha producido esa variación de los calados
 - Este principio de la variación de calados, como consecuencia de la variación del desplazamiento de un buque, es uno de los métodos existentes para calcular la carga que se le embarcó o desembarcó de un buque
-

CENTRO DE DE FUERZA O DE GRAVEDAD Y DENSIDAD - EJEMPLO

- Una barcaza de forma rectangular tiene 30 metros de eslora y 15 metros de manga y está flotando con calados parejos (quilla uniforme). Internamente está dividida en dos compartimientos separados por un mamparo transversal ubicado a 20 metros de la proa. La barcaza vacía desplaza 100 toneladas y tiene una distribución de peso uniforme. Ambos compartimientos se cargan con agua dulce; el de proa hasta una altura de 1,5 metros y el de popa a una altura de 1,2 metros; ambas medidas tomadas desde el fondo del estanque ($\rho_{agua\ dulce} = 1(t/m^3)$)
 - a. ¿Cuál es el desplazamiento de la barcaza después de embarcar el agua?
 - b. ¿A qué distancia desde la proa o popa se encuentra concentrado la masa de la barcaza en estas condiciones?

CENTRO DE DE FUERZA O DE GRAVEDAD - EJEMPLO

Respuesta a.:

- Origen en la quilla (K) y en el punto más a popa del buque ($x, y, z = 0$)
 - El estanque de proa mide 20 x 15 m, mientras que el de popa mide 10 x 15 m
 - El volumen de agua cargada en el estanque de proa es de $20 * 15 * 1.5 = 450 \text{ (m}^3\text{)}$
 - El volumen de agua en el estanque de popa segundo estanque es de $10 * 15 * 1.2 = 180 \text{ (m}^3\text{)}$
 - Como la densidad del agua dulce es de $1 \text{ (t/m}^3\text{)}$, el estanque de proa tendrá 450 (t) y el de popa 180 (t)
 - El desplazamiento de la barcaza después de cargar el agua será:
 - *Desplazamiento (Δ) = Desplazamiento vacío + masa estanque de proa + masa estanque de popa*
 - *Desplazamiento (Δ) = 100 (t) + 450 (t) + 180 (t) = 730 (t)*
-

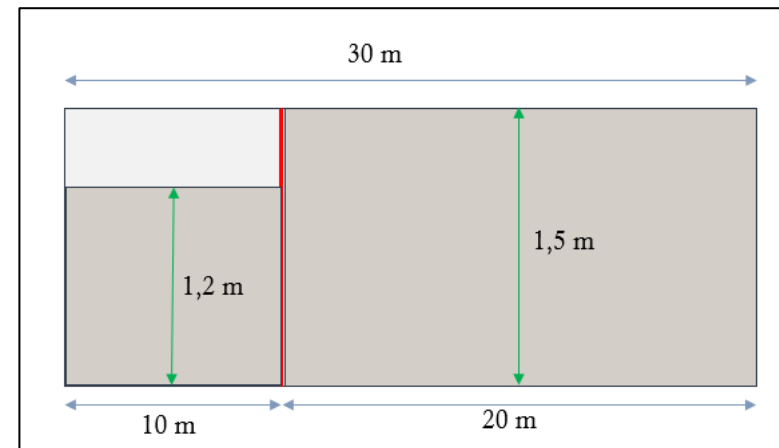
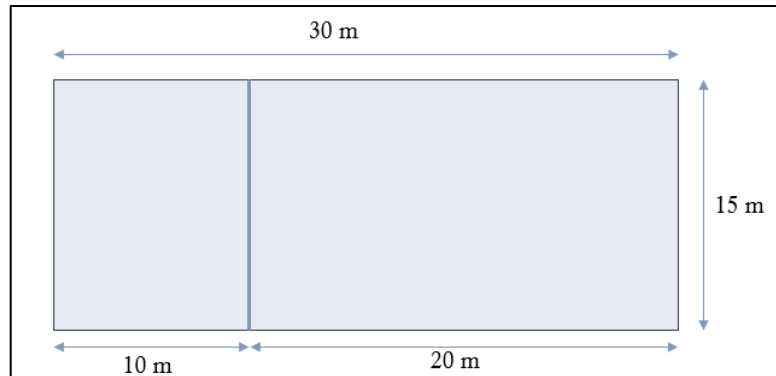
CENTRO DE DE FUERZA O DE GRAVEDAD - EJEMPLO

- Respuesta **b.**:

$$\text{Punto de concentración de masa} = \frac{100(t) \times 15(m) + 450(t) * (10 + \frac{20}{2}(m)) + 180(t) \times (\frac{10}{2}(m))}{730(t)}$$

$$\text{Punto de concentración de masa} = 15,61(m)$$

- La masa se encuentra concentrada a 15,61 metros desde la popa de la barcaza



UA 1

FUNDAMENTOS

DE ESTABILIDAD

Catedra de Sistemas de Ingeniería

Profesores:

CC Sr. Matías Fisher Silva (3C)

PC Alberto García Covacevich (3A y 3B)

Tercer Año Ejecutivo Escuela Naval -
Primer semestre 2026

