

MF. T2.- Estática de Fluidos

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Energética
Area: Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es
Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28
<http://personales.unican.es/renedoc/index.htm>
Tlfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

1

T2.- ESTÁTICA DE FLUIDOS

- 1.- Presión
- 2.- Fuerzas sobre Cuerpos Sumergidos (Principio de Arquímedes)
- 3.- Flotabilidad y Estabilidad
- 4.- Fuerza Ejercida sobre una Superficie Plana
- 5.- Fuerza Ejercida sobre una Superficie Curva

1.- Presión (I)

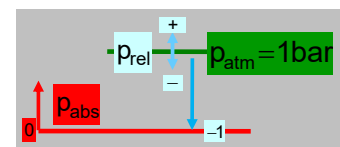
Presión, Pascal: (Fuerza / Superficie) [Pa = N/m²]

- En el interior de un fluido se transmite igual en todas las direcciones
- Se ejerce perpendicularmente a las superficies que lo contienen

Tipos de Presión:

- **Atmosférica;** p_{atm} (nivel del mar y 0°C) = 1,013 bar
- **Absoluta;** $p_{abs} (> 0)$ $p_{abs} = p_{atm} + p_{rel}$ $p_{abs} \approx 1 + p_{rel}$ (bar)
- **Relativa o manométrica;** p_{rel} (si < 0 P de vacío)

Vacío: $P < P_{atm}$



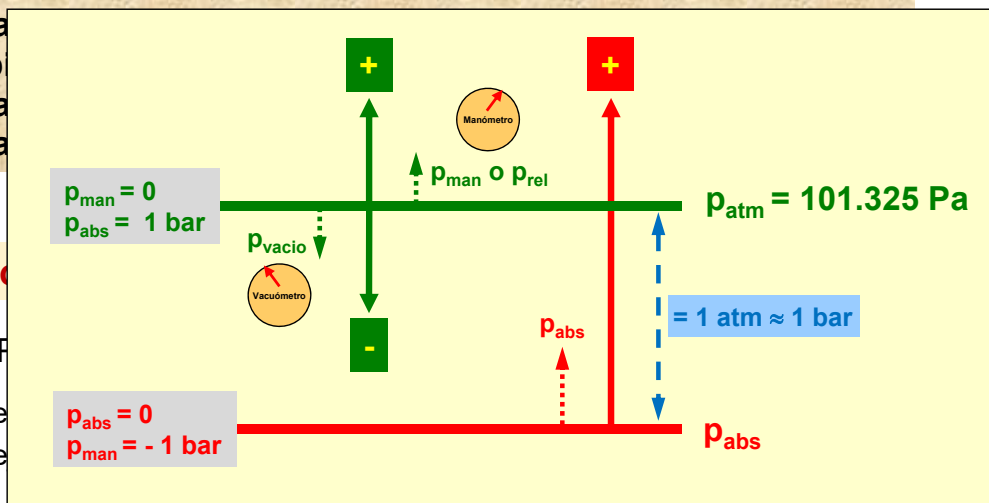
2

- 1.- Presión
- 2.- Fuerza
- 3.- Flotabilidad
- 4.- Fuerza
- 5.- Fuerza

1.- Presión

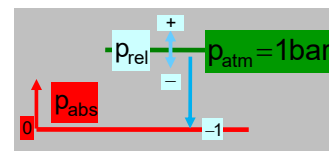
Presión, P

- En e
- Se e



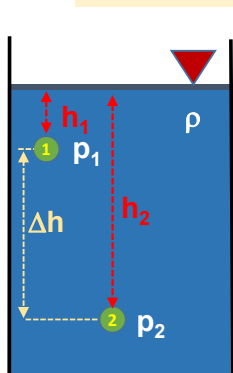
Tipos de Presión:

- **Atmosférica;** p_{atm} (nivel del mar y 0°C) = 1,013 bar
- **Absoluta;** $p_{abs} (> 0)$ $p_{abs} = p_{atm} + p_{rel}$ $p_{abs} \approx 1 + p_{rel}$ (bar)
- **Relativa o manométrica;** p_{rel} (si < 0 P de vacío)



Vacío: $P < P_{atm}$

1.- Presión (II)



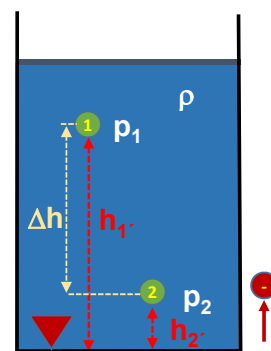
Elevación: distancia vertical medida hasta el nivel de referencia

Profundidad: distancia vertical medida desde un nivel de referencia

La diferencia de presión dentro de un fluido

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \gamma \cdot (h_2 - h_1) = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \gamma \cdot (-h_2 - (-h_1)) = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$



La altura de presión, H: representa la altura del fluido de γ que produce una P dada

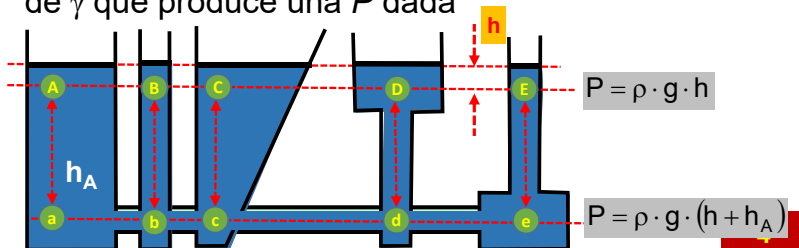
$$H(m) = \frac{P(Pa)}{\gamma(N/m^3)}$$

En un fluido en reposo:

$$\text{Si: } h_A = h_B = h_C = h_D = h_E$$

$$P_A = P_B = P_C = P_D = P_E$$

Ya que: $P_a = P_b = P_c = P_d = P_e$

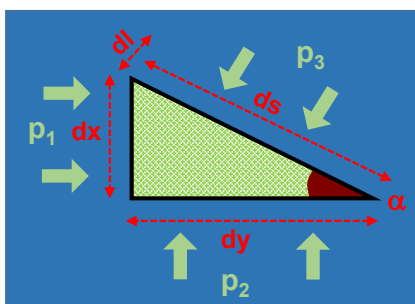


1.- Presión (III)

Hidrostática: fluidos en reposo ($v = 0$)

Si está en reposo no se le aplica cortante (deslizaría)
Las tensiones son normales a la superficie

Elemento infinitesimal (ancho dl)



Equilibrio de F:

$$\left. \begin{aligned} H: p_1 \cdot [dx \cdot dl] &= p_3 \cdot [(ds \cdot \text{sen} \alpha) \cdot dl] \\ V: p_2 \cdot [dy \cdot dl] &= p_3 \cdot [(ds \cdot \text{cos} \alpha) \cdot dl] \end{aligned} \right\}$$

Trigonometría:

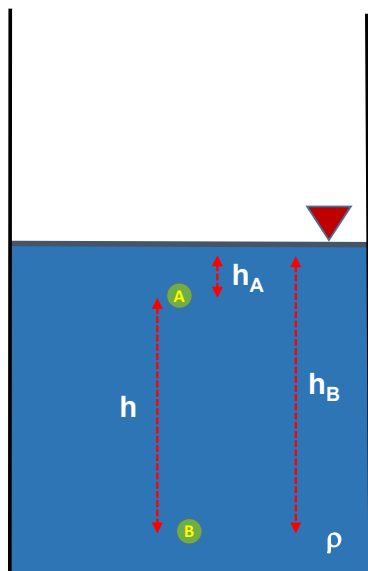
$$\left. \begin{aligned} dx &= ds \cdot \text{sen} \alpha \\ dy &= ds \cdot \text{cos} \alpha \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} p_1 &= p_3 \\ p_2 &= p_3 \end{aligned} \right\}$$

$$p_1 = p_2 = p_3$$

La presión es la misma en todas las direcciones

1.- Presión (IV)

Principio de Pascal: Si sobre la porción plana de la superficie libre de un líquido, se ejerce una cierta presión, esta se transmite íntegra y por igual en todas direcciones



Si la presión aumenta en un punto (A) quedará incrementada en el mismo valor en otro punto del líquido (B)

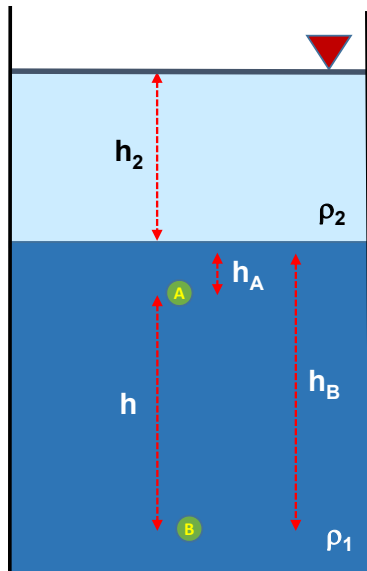
$$\left[\begin{aligned} P_A &= \rho \cdot g \cdot h_A & P_B - P_A &= \rho \cdot g \cdot (h_B - h_A) \\ P_B &= \rho \cdot g \cdot h_B & P_B - P_A &= \rho \cdot g \cdot h \end{aligned} \right.$$

$$\begin{aligned} \text{Si } \Delta P_A \Rightarrow & (P_B + \Delta P_B) - (P_A + \Delta P_A) = \rho \cdot g \cdot h \\ & (P_B - P_A) + (\Delta P_B - \Delta P_A) = \rho \cdot g \cdot h \\ & \rho \cdot g \cdot h + (\Delta P_B - \Delta P_A) = \rho \cdot g \cdot h \end{aligned}$$

$$\Delta P_A = \Delta P_B$$

1.- Presión (V)

Principio de Pascal: Si sobre la porción plana de la superficie libre de un líquido, se ejerce una cierta presión, esta se transmite íntegra y por igual en todas direcciones



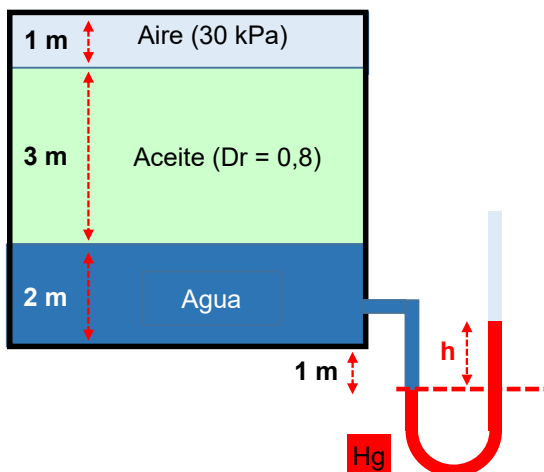
Si la presión aumenta en un punto (A) quedará incrementada en el mismo valor en otro punto del líquido (B)

$$\begin{cases} P_A = \rho_2 \cdot g \cdot h_2 + \rho \cdot g \cdot h_A & \Rightarrow \Delta P_A = \rho_2 \cdot g \cdot h_2 \\ P_B = \rho_2 \cdot g \cdot h_2 + \rho \cdot g \cdot h_B & \Rightarrow \Delta P_B = \rho_2 \cdot g \cdot h_2 \end{cases}$$

$$\Delta P_A = \Delta P_B$$

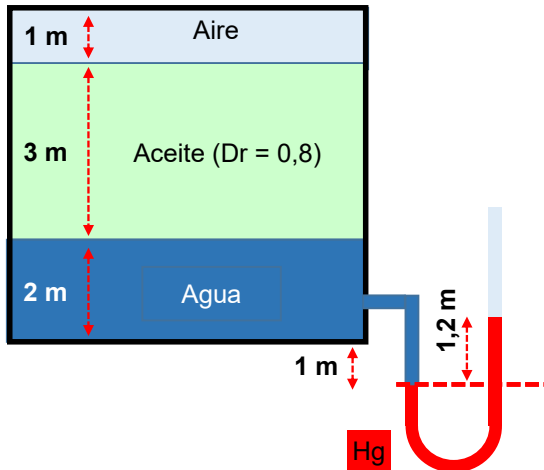
7

El depósito cerrado de la figura contiene tres fluidos diferentes. Determinar la diferencia de niveles en altura en la columna de mercurio ($\rho_{Hg} = 13,6$) del manómetro diferencial suponiendo que la p_{aire} es manométrica

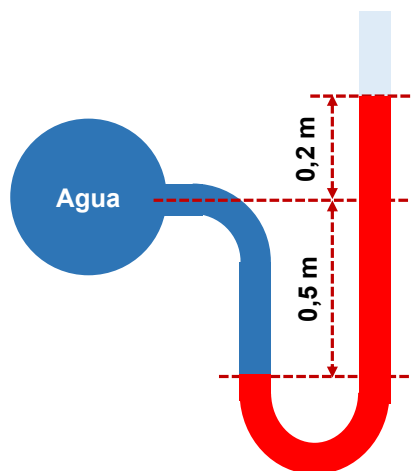


8

El depósito cerrado de la figura contiene tres fluidos diferentes. Determinar la presión manométrica del aire si la columna de mercurio ($D_r = 13,6$) del manómetro diferencial es de 1,2 m

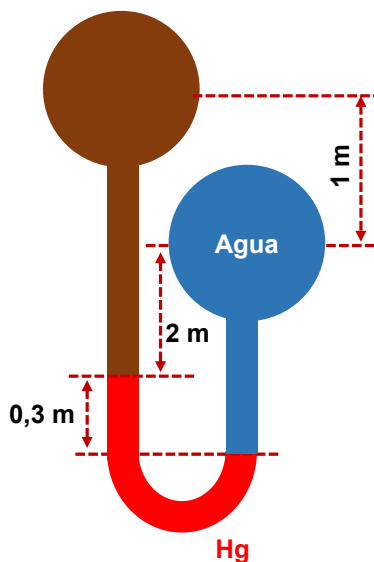


Calcular la presión en la tubería si circula agua y el manómetro contiene mercurio



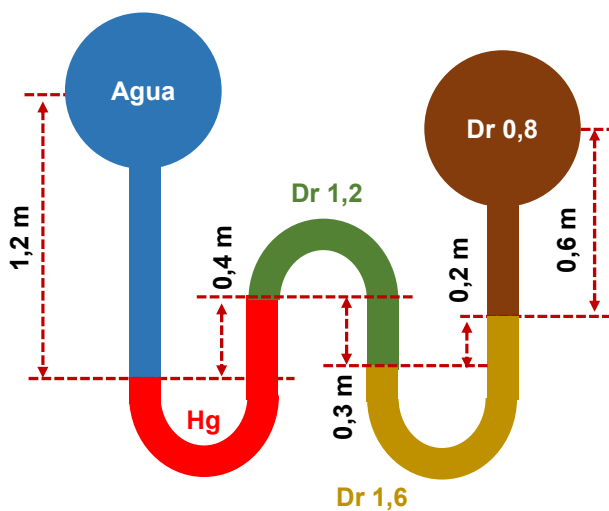
Calcular la diferencia de presión entre las tuberías si en manómetro hay Hg

- Si en las dos tuberías circula agua
- Si en la tubería más alta circula aceite Dr 0,85



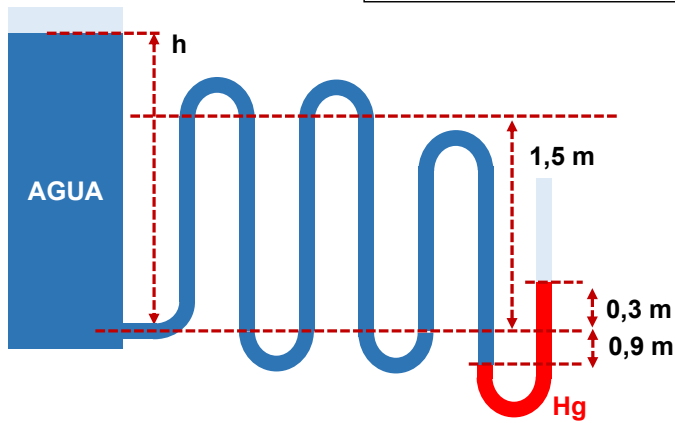
11

Calcular la presión en la tubería B por la que circula un fluido de Dr 0,8, si la presión en la tubería A, por la que circula agua, es de 1,2 Bar, en manómetro de la izda hay mercurio, en la parte alta del sifón un fluido de Dr 1,2, y en el manómetro de la dcha un líquido de Dr 1,6

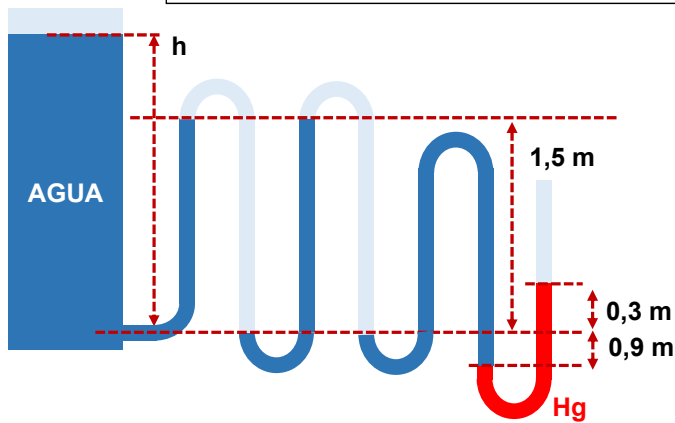


12

Calcular la altura en el depósito



Calcular la altura en el depósito si hay aire en los espacios



1.- Presión (VI)

Principio de Pascal: Multiplicador de Fuerzas

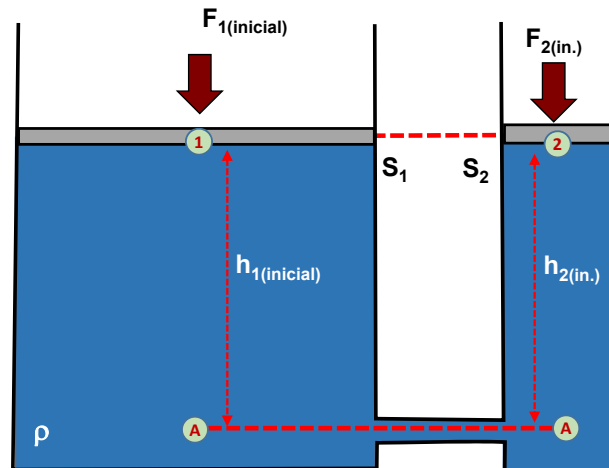
$$p_{A(\text{izda})} = p_{A(\text{dcha})}$$

$$p_{1(\text{in.})} + \rho \cdot g \cdot h_{1(\text{in.})} = p_{2(\text{in.})} + \rho \cdot g \cdot h_{2(\text{in.})}$$

$$F_{1(\text{in.})} = F_{2(\text{in.})} \cdot \frac{S_{1(\text{in.})}}{S_{2(\text{in.})}}$$

$$F_{2(\text{in.})} = F_{1(\text{in.})} \cdot \frac{S_{2(\text{in.})}}{S_{1(\text{in.})}}$$

Si están al mismo nivel, la relación de fuerzas es inversamente proporcional a la relación de áreas



1.- Presión (VII)

Principio de Pascal: Multiplicador de Fuerzas

$$p_{A(\text{izda})} = p_{A(\text{dcha})}$$

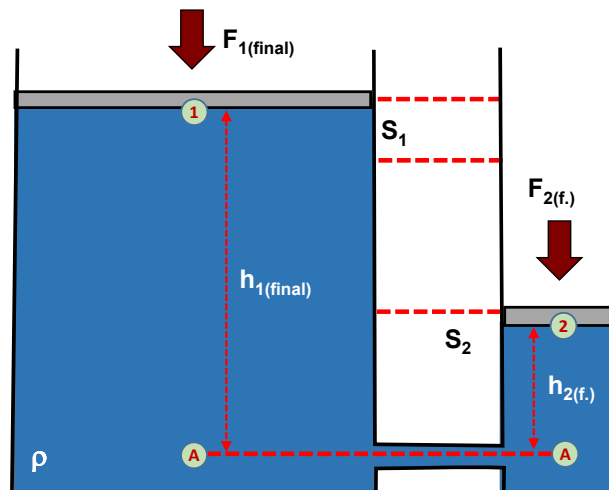
$$p_{1(\text{in.})} + \rho \cdot g \cdot h_{1(\text{in.})} = p_{2(\text{in.})} + \rho \cdot g \cdot h_{2(\text{in.})}$$

$$p_{1(\text{f.})} + \rho \cdot g \cdot h_{1(\text{f.})} = p_{2(\text{f.})} + \rho \cdot g \cdot h_{2(\text{f.})}$$

$$\frac{F_{1(\text{f.})}}{S_1} + \rho \cdot g \cdot h_{1(\text{f.})} = \frac{F_{2(\text{f.})}}{S_2} + \rho \cdot g \cdot h_{2(\text{f.})}$$

$$F_{2(\text{f.})} = S_2 \cdot \left[\frac{F_{1(\text{f.})}}{S_1} + \rho \cdot g \cdot (h_{1(\text{f.})} - h_{2(\text{f.})}) \right]$$

Es la fuerza que hay que aplicar en 2 para elevar $(h_{1(\text{f.})} - h_{2(\text{f.})})$ un peso de valor $F_{1(\text{f.})}$



1.- Presión (VII)

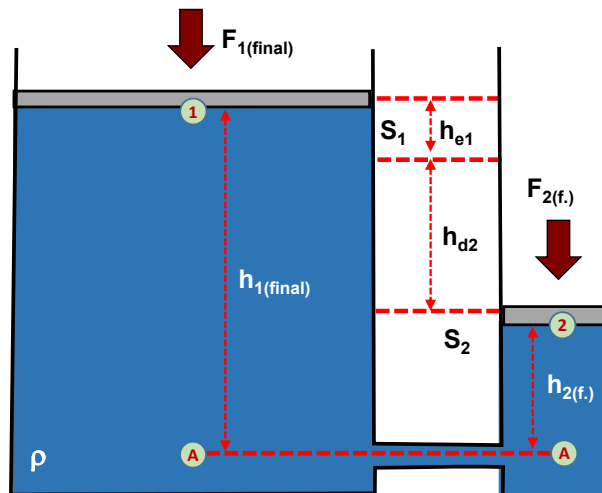
Principio de Pascal: Multiplicador de Fuerzas

$$\left\{ \begin{aligned} p_{A(\text{izda})} &= p_{A(\text{dcha})} \\ p_{1(\text{in.})} + \rho \cdot g \cdot h_{1(\text{in.})} &= p_{2(\text{in.})} + \rho \cdot g \cdot h_{2(\text{in.})} \\ p_{1(\text{f.})} + \rho \cdot g \cdot h_{1(\text{f.})} &= p_{2(\text{f.})} + \rho \cdot g \cdot h_{2(\text{f.})} \\ \frac{F_{1(\text{f.})}}{S_1} + \rho \cdot g \cdot h_{1(\text{f.})} &= \frac{F_{2(\text{f.})}}{S_2} + \rho \cdot g \cdot h_{2(\text{f.})} \end{aligned} \right.$$

$$F_{2(\text{f.})} = S_2 \cdot \left[\frac{F_{1(\text{f.})}}{S_1} + \rho \cdot g \cdot (h_{1(\text{f.})} - h_{2(\text{f.})}) \right]$$

Es la fuerza que hay que aplicar en 2 para elevar $(h_{1(\text{f.})} - h_{2(\text{f.})})$ un peso de valor $F_{1(\text{f.})}$

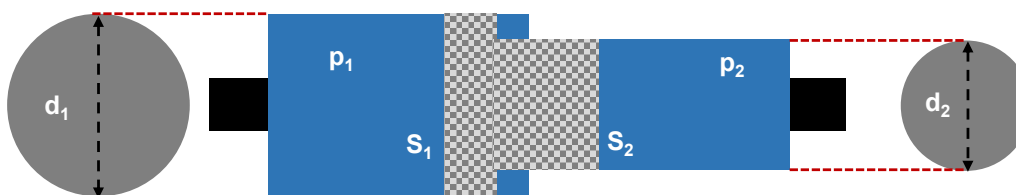
Obviamente el volumen de líquido que sale de izda es el que se introduce en la dcha



$$\Delta \text{Vol}_{\text{Izda}} = \Delta \text{Vol}_{\text{Dcha}} \Rightarrow S_1 \cdot h_{e1} = S_2 \cdot h_{d2} \Rightarrow h_{e1} = h_{d2} \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

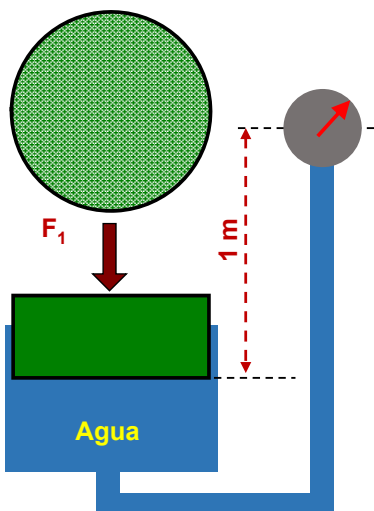
17

Calcular la relación de radios para que la presión p_2 sea el doble que p_1



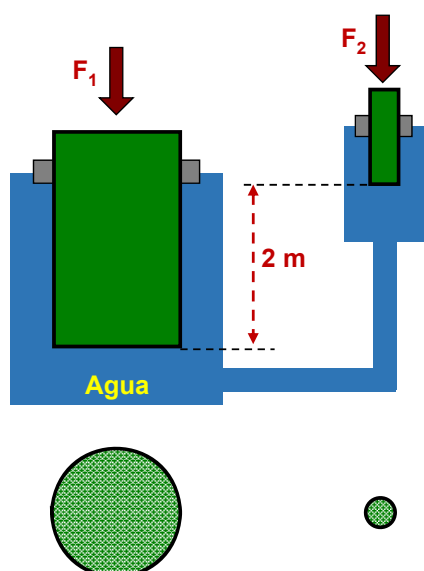
18

El cilindro de 1 m de diámetro y el tubo contienen agua; calcular cual debe ser la masa del émbolo para que se midan 2 bar en el manómetro



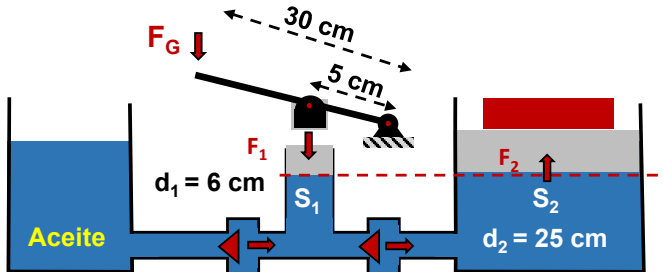
19

Los diámetros de los pistones pequeño y grande son de 3 y 90 cm, siendo sus pesos de 50 N y 50 kN respectivamente. Calcular la fuerza necesaria que es preciso aplicar en el pequeño para que el grande soporte una carga externa de 120 kN



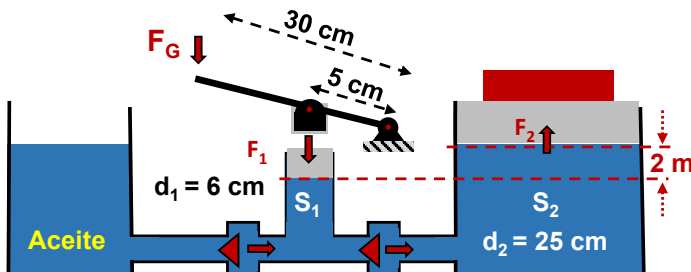
20

El gato hidráulico toma aceite del depósito de la izda y lo introduce en la cámara 2. Determinar el peso que puede levantar si se aplica una fuerza de 20 kg en la palanca



21

El gato hidráulico toma aceite ($D_r = 0,85$) del depósito de la izda y lo introduce en la cámara 2. Determinar el peso que puede levantar **2 m** si se aplica una fuerza de 20 kg en la palanca

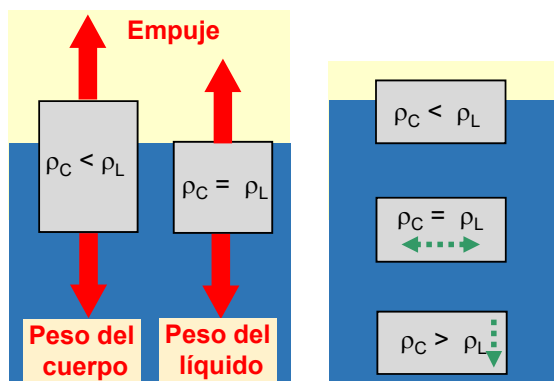


22

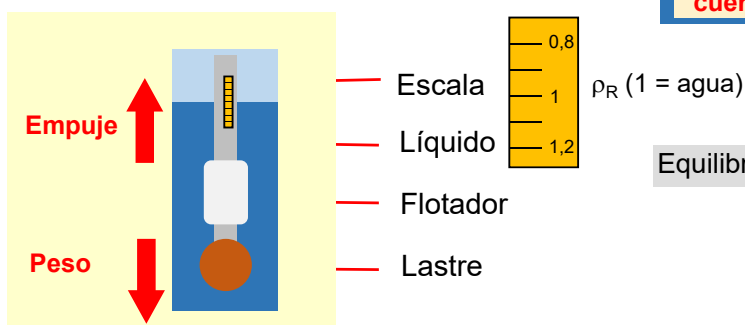
2.- Fuerzas sobre Cuerpos Sumergidos (P. de Arquímedes) (I)

Un **cuerpo sumergido** en un líquido experimenta un **empuje ascensional** igual al peso del líquido desalojado

- Si $\rho_L > \rho_S \Rightarrow$ Flota
- Si $\rho_L = \rho_S \Rightarrow$ Se sumerge "en equilibrio"
- Si $\rho_L < \rho_S \Rightarrow$ Se hunde



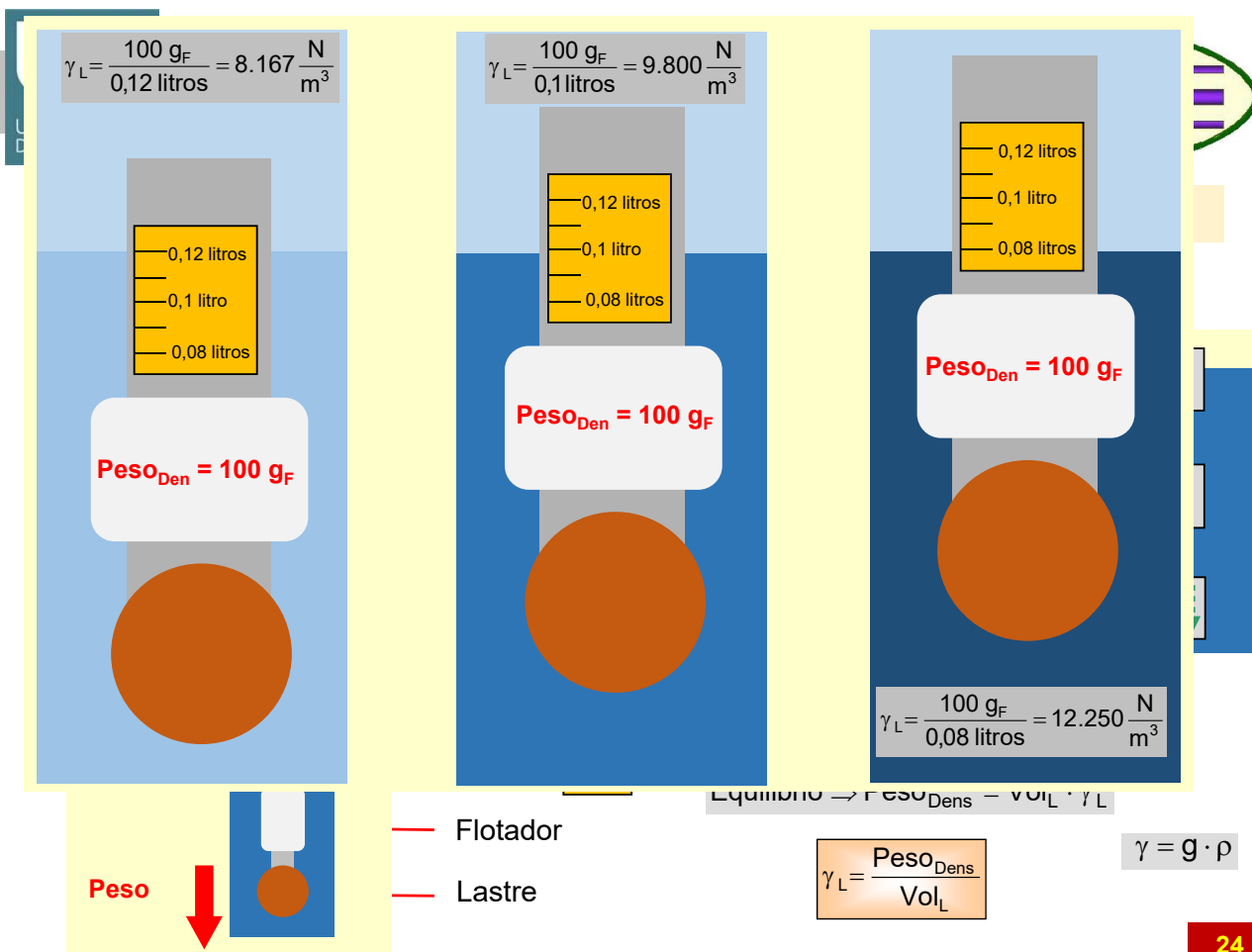
Densímetro:



Equilibrio \Rightarrow $\text{Peso}_{\text{Dens}} = \text{Vol}_L \cdot \gamma_L$

$$\gamma_L = \frac{\text{Peso}_{\text{Dens}}}{\text{Vol}_L}$$

$\gamma = g \cdot \rho$



Equilibrio \Rightarrow $\text{Peso}_{\text{Dens}} = \text{Vol}_L \cdot \gamma_L$

$$\gamma_L = \frac{\text{Peso}_{\text{Dens}}}{\text{Vol}_L}$$

$\gamma = g \cdot \rho$

$\gamma_L = \frac{100 \text{ g}_F}{0,12 \text{ litros}} = 8.167 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$
 $\gamma_L = \frac{100 \text{ g}_F}{0,1 \text{ litros}} = 9.800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$
 $\gamma_L = \frac{100 \text{ g}_F}{0,08 \text{ litros}} = 12.250 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$

Equilibrio \rightarrow $Peso_{Dens} = Vol_L \cdot \gamma_L$
 $\gamma = g \cdot \rho$
 $\gamma_L = \frac{Peso_{Dens}}{Vol_L}$

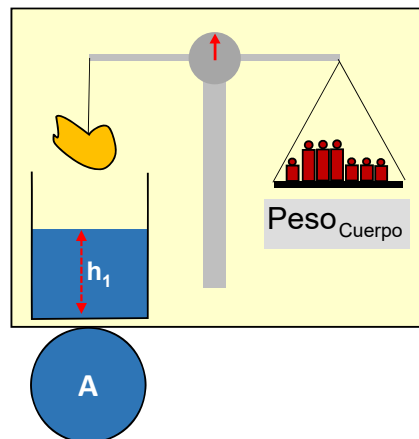
Flotador
 Lastre

25

2.- Fuerzas sobre Cuerpos Sumergidos (P. de Arquímedes) (II)

Determinación del volumen y la densidad de un cuerpo irregular

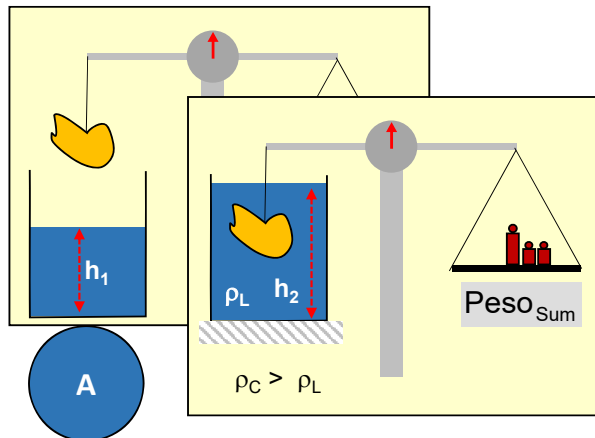
- Determinación del peso



2.- Fuerzas sobre Cuerpos Sumergidos (P. de Arquímedes) (II)

Determinación del volumen y la densidad de un cuerpo irregular

- Determinación del peso
- Determinación del peso sumergido



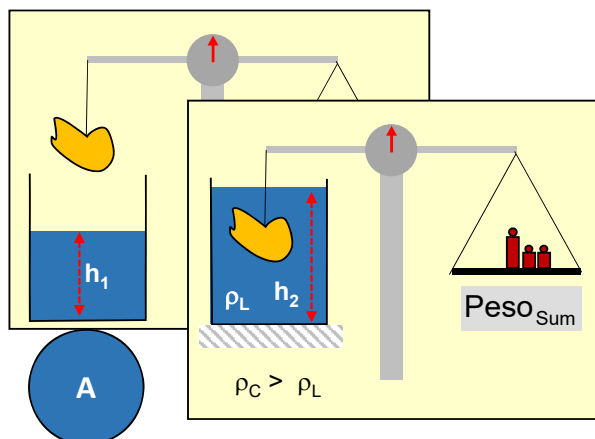
27

2.- Fuerzas sobre Cuerpos Sumergidos (P. de Arquímedes) (II)

Determinación del volumen y la densidad de un cuerpo irregular

- Determinación del peso
- Determinación del peso sumergido
- Cálculo del Empuje Ascensional

$$\text{Empuje} = \text{Peso}_{\text{Cuerpo}} - \text{Peso}_{\text{Sum}}$$

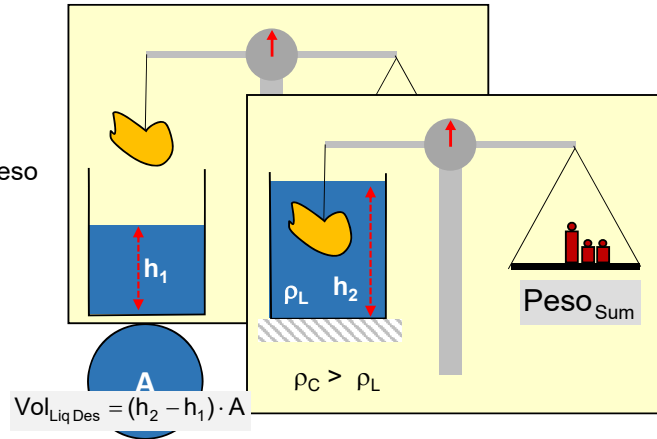


28

2.- Fuerzas sobre Cuerpos Sumergidos (P. de Arquímedes) (II)

Determinación del volumen y la densidad de un cuerpo irregular

- Determinación del peso
- Determinación del peso sumergido
- Cálculo del Empuje Ascensional
- El Empuje se corresponde con el peso del líquido desalojado

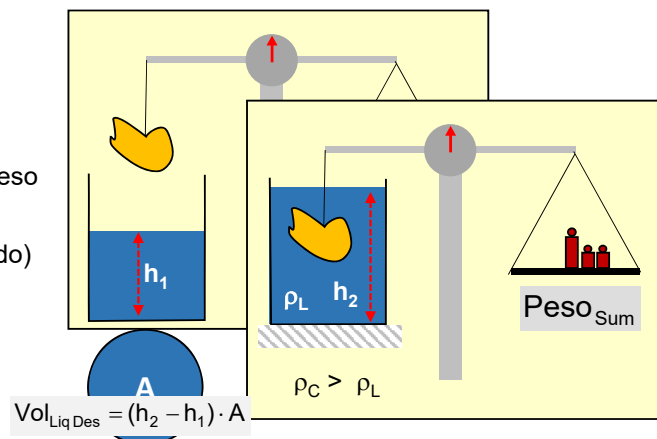


$$\left\{ \begin{aligned} \text{Empuje} &= \text{Peso}_{\text{Cuerpo}} - \text{Peso}_{\text{Sum}} \\ \text{Empuje} &= \text{Peso}_{\text{Liq Des}} = \text{Vol}_{\text{Liq Des}} \cdot \gamma_{\text{Liq}} \end{aligned} \right.$$

2.- Fuerzas sobre Cuerpos Sumergidos (P. de Arquímedes) (II)

Determinación del volumen y la densidad de un cuerpo irregular

- Determinación del peso
- Determinación del peso sumergido
- Cálculo del Empuje Ascensional
- El Empuje se corresponde con el peso del líquido desalojado
- Se calcula el volumen (cuerpo/líquido)



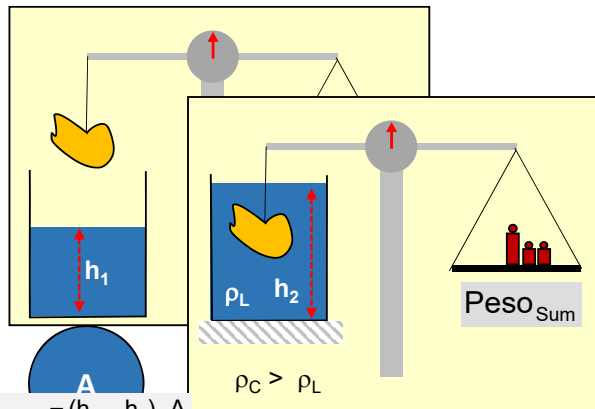
$$\left\{ \begin{aligned} \text{Empuje} &= \text{Peso}_{\text{Cuerpo}} - \text{Peso}_{\text{Sum}} \\ \text{Empuje} &= \text{Peso}_{\text{Liq Des}} = \text{Vol}_{\text{Liq Des}} \cdot \gamma_{\text{Liq}} \end{aligned} \right.$$

$$\text{Vol}_{\text{Cuerpo}} = \text{Vol}_{\text{Liq Des}} = \frac{\text{Empuje}}{\gamma_{\text{Liq}}} = \frac{\text{Peso}_{\text{Liq Des}}}{\gamma_{\text{Liq}}} = \frac{\text{Peso}_{\text{Cuerpo}} - \text{Peso}_{\text{Sum}}}{\gamma_{\text{Liq}}}$$

2.- Fuerzas sobre Cuerpos Sumergidos (P. de Arquímedes) (II)

Determinación del volumen y la densidad de un cuerpo irregular

- Determinación del peso
- Determinación del peso sumergido
- Cálculo del Empuje Ascensional
- El Empuje se corresponde con el peso del líquido desalojado
- Se calcula el volumen (cuerpo/líquido)
- Se calcula la densidad del cuerpo



$$\text{Empuje} = \text{Peso}_{\text{Cuerpo}} - \text{Peso}_{\text{Sum}}$$

$$\text{Empuje} = \text{Peso}_{\text{Liq Des}} = \text{Vol}_{\text{Liq Des}} \cdot \gamma_{\text{Liq}}$$

$$\text{Vol}_{\text{Liq Des}} = (h_2 - h_1) \cdot A$$

$$\text{Vol}_{\text{Cuerpo}} = \text{Vol}_{\text{Liq Des}} = \frac{\text{Empuje}}{\gamma_{\text{Liq}}} = \frac{\text{Peso}_{\text{Liq Des}}}{\gamma_{\text{Liq}}} = \frac{\text{Peso}_{\text{Cuerpo}} - \text{Peso}_{\text{Sum}}}{\gamma_{\text{Liq}}}$$

$$\gamma_{\text{Liq}} = \frac{P_{\text{Cuerpo}} - P_{\text{Sum}}}{\text{Vol}_{\text{Liq Des}}}$$

$$\rho_{\text{Cuerpo}} = \frac{\gamma_{\text{Cuerpo}}}{g} = \frac{\text{Peso}_C}{g \cdot \text{Vol}_C}$$

$$\rho_{\text{Liq}} = \frac{P_{\text{Cuerpo}} - P_{\text{Sum}}}{g \cdot \text{Vol}_{\text{Liq Des}}} = \frac{P_{\text{Cuerpo}}}{g \cdot \text{Vol}_{\text{Cuerpo}}} - \frac{P_{\text{Sum}}}{g \cdot \text{Vol}_{\text{Cuerpo}}}$$

$$= \rho_{\text{Cuerpo}} - \frac{P_{\text{Sum}}}{g \cdot \text{Vol}_C}$$

31

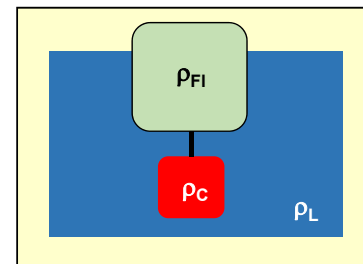
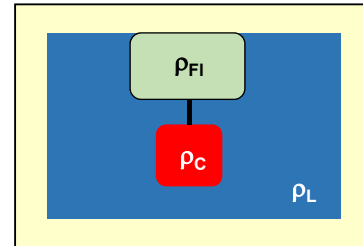
Determinar la densidad de un líquido en el que un cuerpo irregular de 3.450 cm³ de 7,2 kg pesa 3,1 kg cuando está sumergido en él. Calcular el peso específico del líquido, y la densidad y el peso específico del cuerpo

2.- Fuerzas sobre Cuerpos Sumergidos (P. de Arquímedes) (III)

Determinación del volumen de un flotador

- Estando en equilibrio las fuerzas se igualan

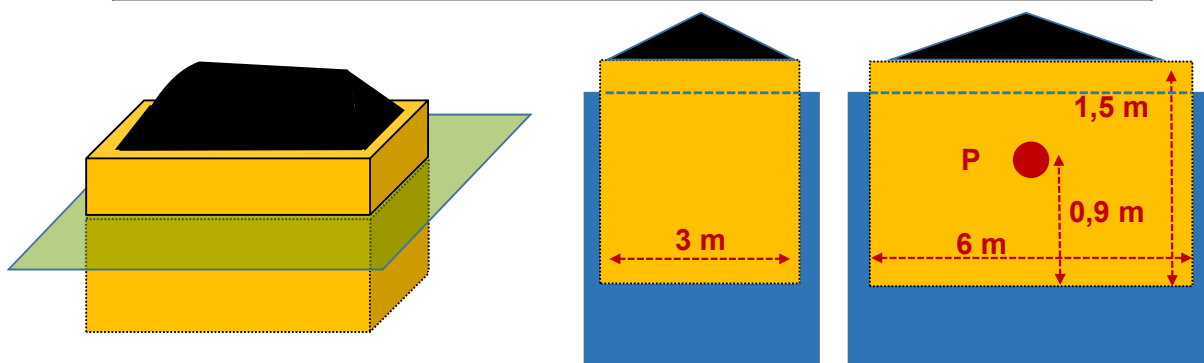
Equilibrio $\Rightarrow \sum \text{Empuje} = \sum \text{Peso}$



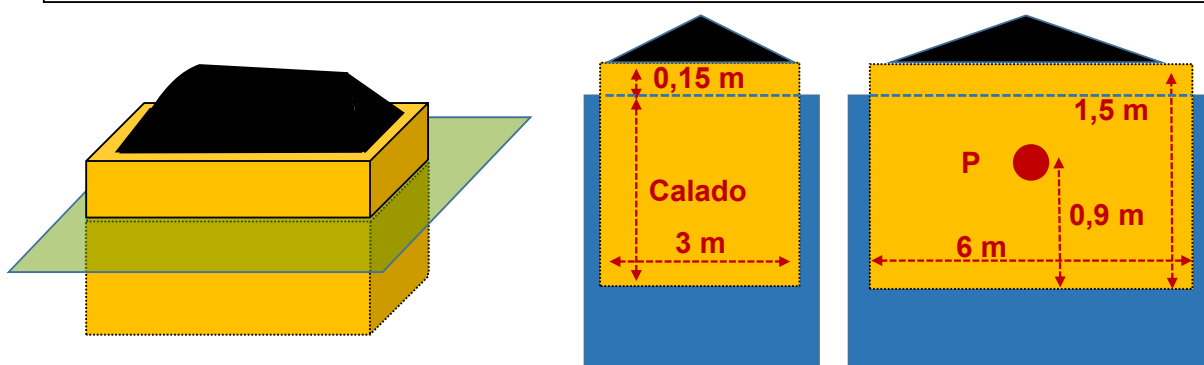
$$\text{Vol}_{\text{Fl}} = \text{Vol}_C \cdot \frac{(\rho_C - \rho_L)}{(\rho_L - \rho_{\text{Fl}})}$$

Calcular el volumen de un flotador de densidad 325 kg/m^3 si debe reflotar en un cuerpo sumergido en agua de $3,15 \text{ m}^3$ y 4.235 kg de peso

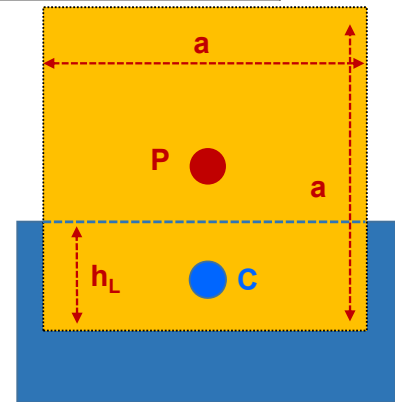
Calcular si la chalana de la Figura flota cuando está totalmente cargada (peso total 20.000 kg)



Calcular la carga que puede llevar la chalana de la Figura si pesa 2.000 kg y el plano de flotación debe estar al menos 15 cm por debajo del borde superior



Dado un cubo de lado a y peso específico γ_C determinar las condiciones de flotabilidad al estar en un fluido de peso específico γ_L

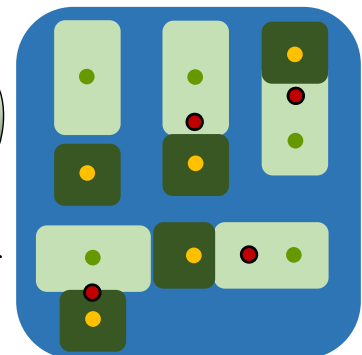
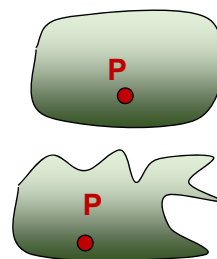


3.- Flotabilidad y Estabilidad (I)

• **Centro de Gravedad del Cuerpo (P)**

Depende de:

- la forma del cuerpo
- las diferencias de densidad del cuerpo
- en el actúa el peso

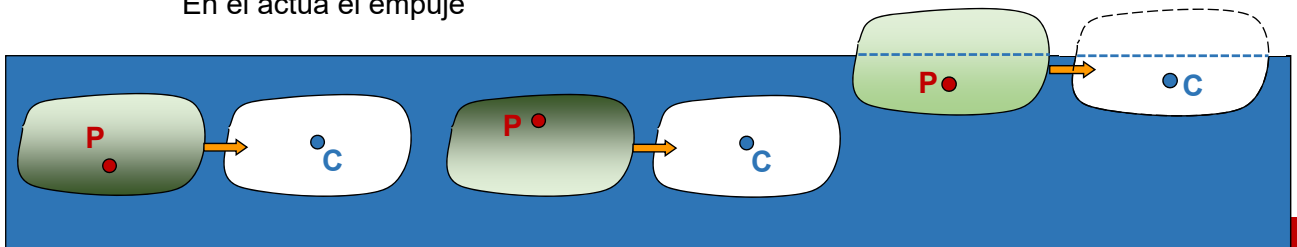


• **Centro de Gravedad del Líquido Desalojado (C)**

o **Centro de Carena** (volumen de fluido desalojado por la parte sumergida)

Depende de la geometría de la parte sumergida del cuerpo

En el actúa el empuje



3.- Flotabilidad y Estabilidad (II)

Equilibrio de Cuerpos Sumergidos (I)

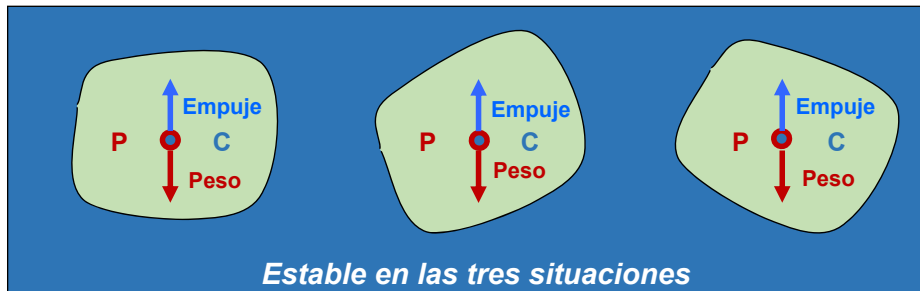
➤ *P* está en el mismo pto que *C*

Equilibrio indiferente

Ante cualquier perturbación no aparece par

$$\text{Empuje} = \text{Vol}_L \cdot \gamma_L$$

$$\text{Peso} = \text{Vol}_C \cdot \gamma_C$$



El **Peso** se manifiesta en el Centro de Gravedad del Cuerpo (**P**)

El **Empuje** se localiza en el Centro de Gravedad del Líquido (**C**)

39

3.- Flotabilidad y Estabilidad (III)

Equilibrio de Cuerpos Sumergidos (II)

➤ *P* está en el mismo pto que *C*

Equilibrio estable:

Ante cualquier perturbación no aparece par

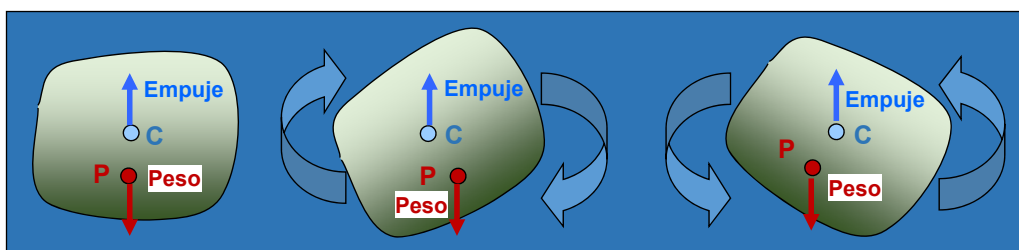
➤ *P* debajo de *C*

Equilibrio estable:

Ante una perturbación, las fuerzas se mantienen constantes, pero no así los puntos de aplicación, por lo que aparece un par equilibrante que tiende a llevar al cuerpo a la posición inicial

$$\text{Empuje} = \text{Vol}_L \cdot \gamma_L$$

$$\text{Peso} = \text{Vol}_C \cdot \gamma_C$$



40

3.- Flotabilidad y Estabilidad (IV)

Equilibrio de Cuerpos Sumergidos (III)

$$\text{Empuje} = \text{Vol}_L \cdot \gamma_L$$

$$\text{Peso} = \text{Vol}_C \cdot \gamma_C$$

➤ *P* está en el mismo pto que *C*

Equilibrio indiferente

Ante cualquier perturbación no aparece par

➤ *P* debajo de *C*

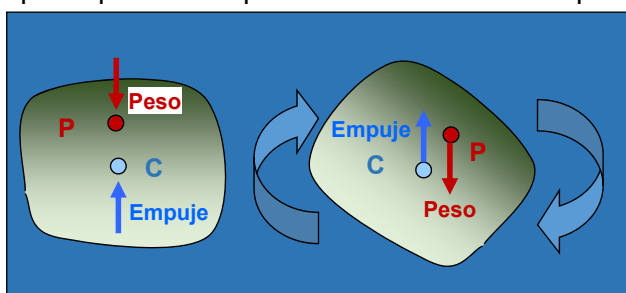
Equilibrio estable:

Ante una perturbación, las fuerzas se mantienen constantes, pero no así los puntos de aplicación, por lo que aparece un par equilibrante que tiende a llevar al cuerpo a la posición inicial

➤ *P* encima de *C*

Equilibrio inestable:

Ante una perturbación aparece un par desequilibrante que tiende a volcar el cuerpo



3.- Flotabilidad y Estabilidad (V)

Cuerpos Parcialmente Sumergidos

Carena:

Es el volumen de fluido desalojado por la parte sumergida

Plano de Flotación:

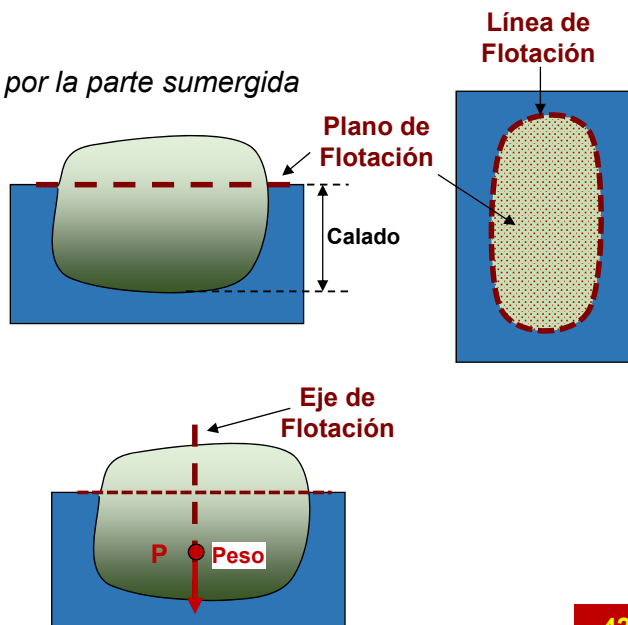
Superficie libre del agua que corta al cuerpo en la posición normal

Línea de Flotación:

Perímetro del plano de flotación

Eje de Flotación:

Eje vertical que pasa por *P* (es perpendicular al PF)



3.- Flotabilidad y Estabilidad (VI)

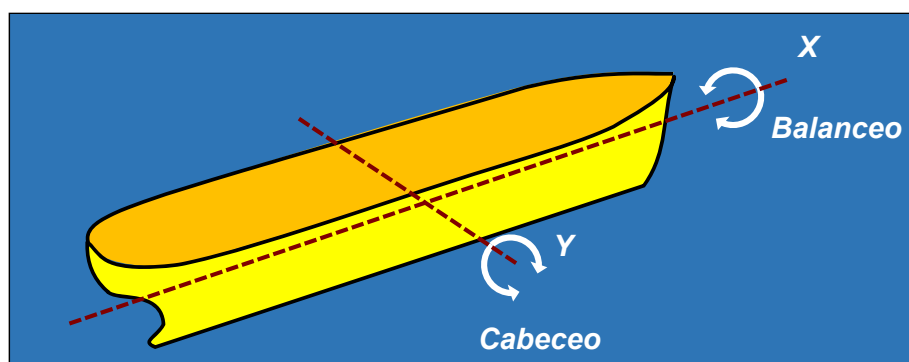
Cuerpos Parcialmente Sumergidos

- **Cabeceo**

Es el movimiento del flotador alrededor de su eje transversal (Y)

- **Balanceo (alabeo en aviones)**

Es el movimiento del flotador alrededor de su eje longitudinal (X)



43

3.- Flotabilidad y Estabilidad (VI)

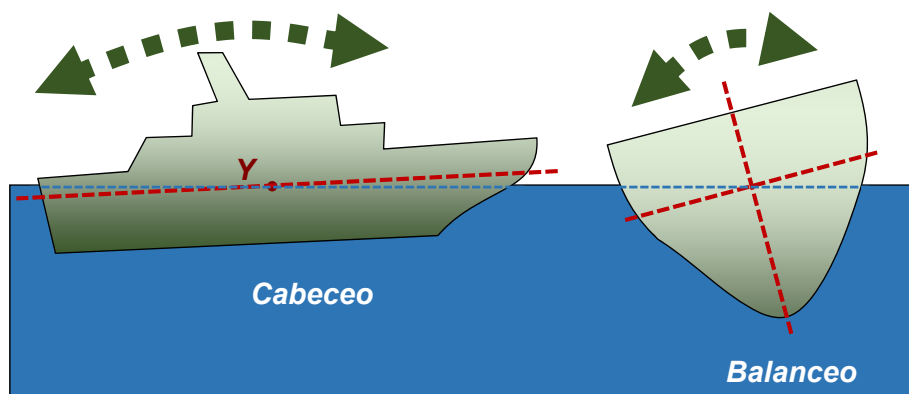
Cuerpos Parcialmente Sumergidos

- **Cabeceo**

Es el movimiento del flotador alrededor de su eje transversal (Y)

- **Balanceo (alabeo en aviones)**

Es el movimiento del flotador alrededor de su eje longitudinal (X)



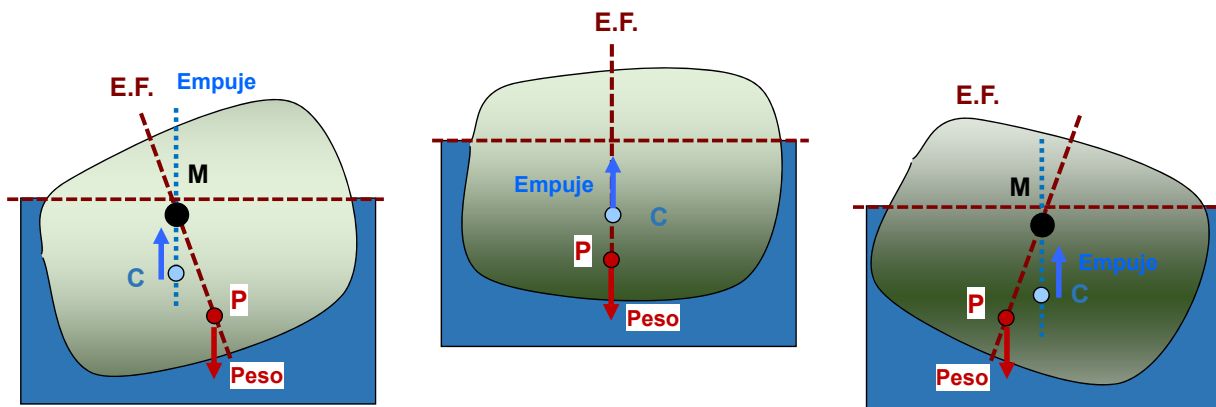
44

3.- Flotabilidad y Estabilidad (VII)

Equilibrio de Cuerpos Parcialmente Sumergidos (I)

Metacentro:

Punto de intersección del Eje de Flotación (pasa por P) con la dirección del empuje (situada en C) cuando el cuerpo está ligeramente girado ($< 15^\circ$)



En los cuerpos parcialmente sumergidos la estabilidad está relacionada con las posiciones relativas P y el M, no con las de P y C

3.- Flotabilidad y Estabilidad (VIII)

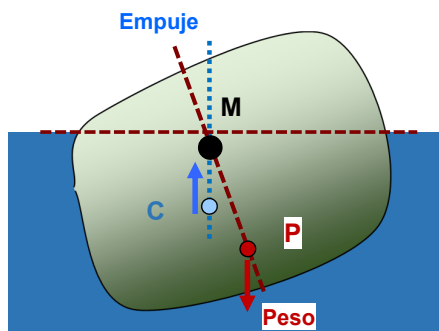
Equilibrio de Cuerpos Parcialmente Sumergidos (II)

➤ *P debajo de M*

Equilibrio estable:

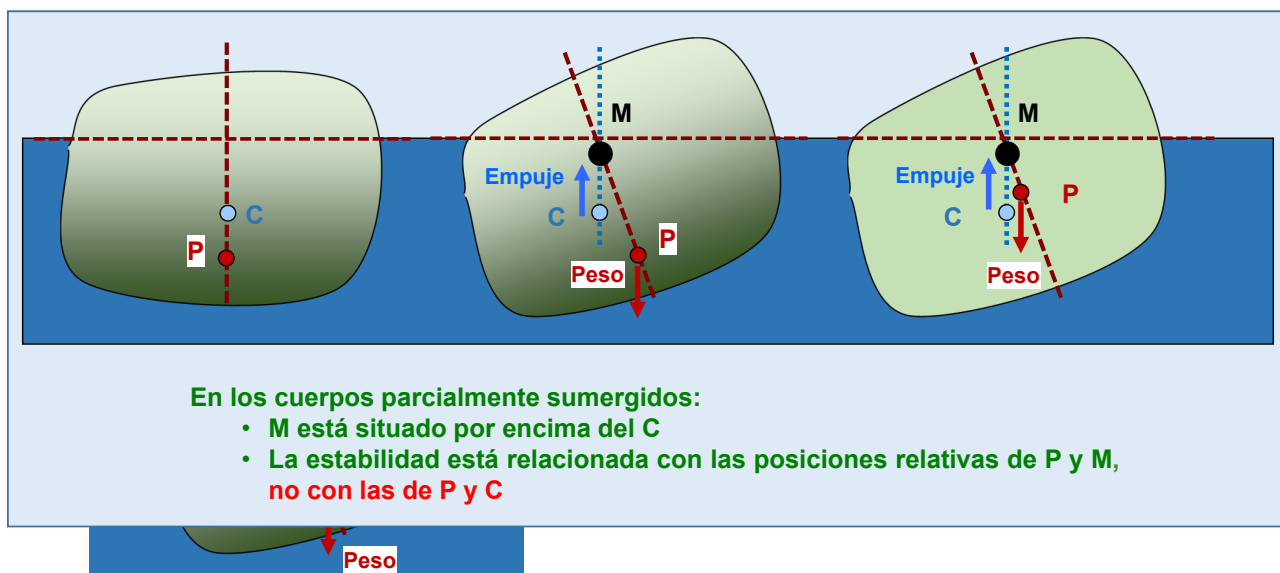
Ante una perturbación aparece un par equilibrante que tiende a llevar al cuerpo a la posición inicial

Las fuerzas se mantienen constantes, pero no así los puntos de aplicación



3.- Flotabilidad y Estabilidad (VIII)

Equilibrio de Cuerpos Parcialmente Sumergidos (II)



47

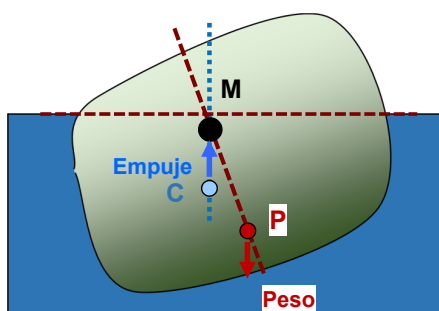
3.- Flotabilidad y Estabilidad (IX)

Equilibrio de Cuerpos Parcialmente Sumergidos (III)

➤ *P debajo de M*

Equilibrio estable:

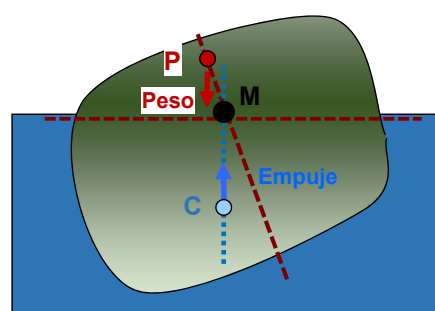
Ante una perturbación aparece un par equilibrante que tiende a llevar al cuerpo a la posición inicial



➤ *P encima de M*

Equilibrio inestable:

Ante una perturbación aparece un par desequilibrante que tiende a volcar el cuerpo



48

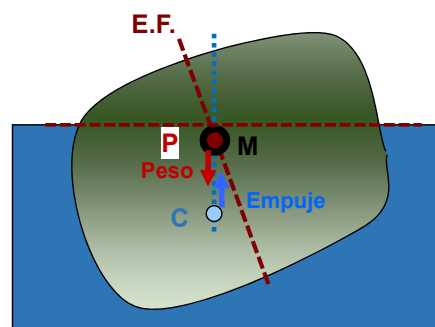
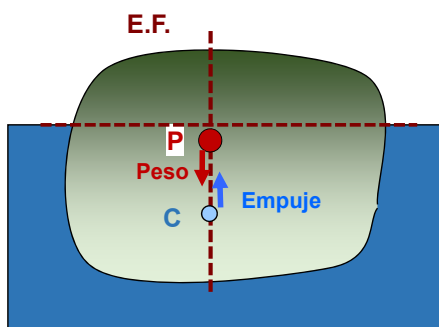
3.- Flotabilidad y Estabilidad (X)

Equilibrio de Cuerpos Parcialmente Sumergidos (IV)

➤ P coincide con M

Equilibrio indiferente:

Ante una perturbación no aparece par



49

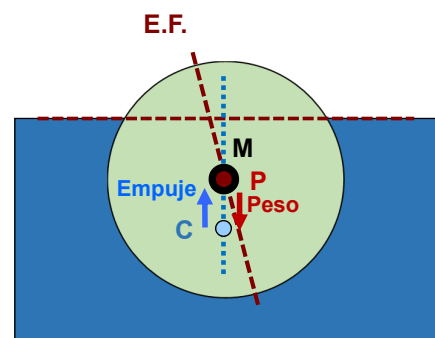
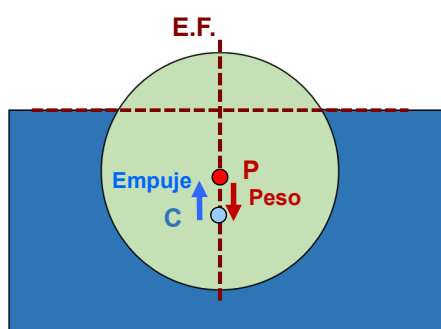
3.- Flotabilidad y Estabilidad (X)

Equilibrio de Cuerpos Parcialmente Sumergidos (IV)

➤ P coincide con M

Equilibrio indiferente:

Ante una perturbación no aparece par



50

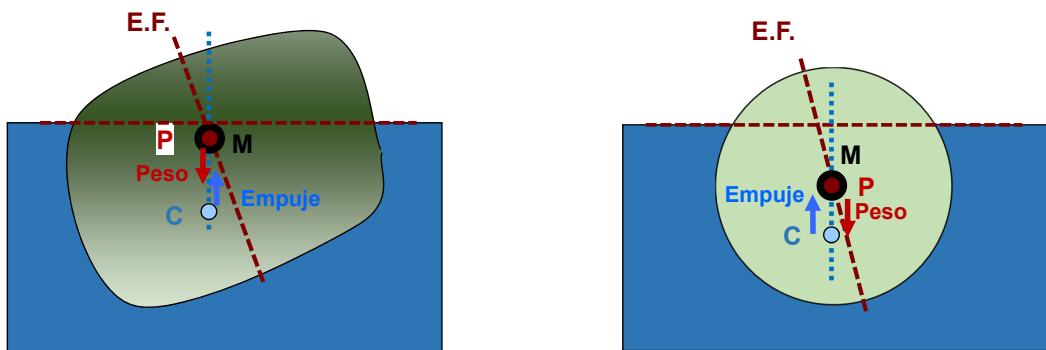
3.- Flotabilidad y Estabilidad (X)

Equilibrio de Cuerpos Parcialmente Sumergidos (IV)

➤ *P coincide con M*

Equilibrio indiferente:

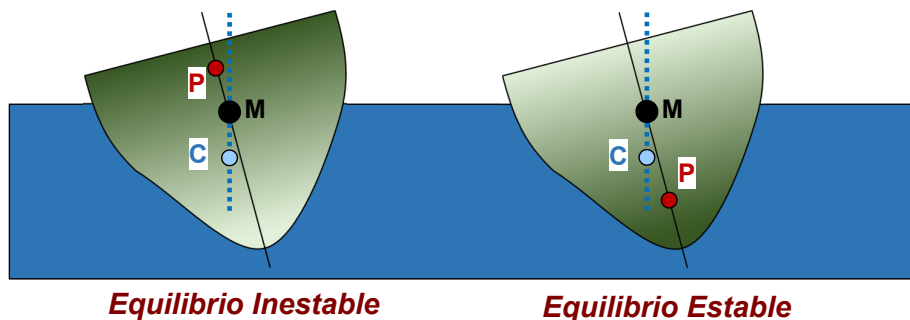
Ante una perturbación no aparece par



51

3.- Flotabilidad y Estabilidad (XI)

Equilibrio de Cuerpos Parcialmente Sumergidos (V)



Equilibrio Inestable

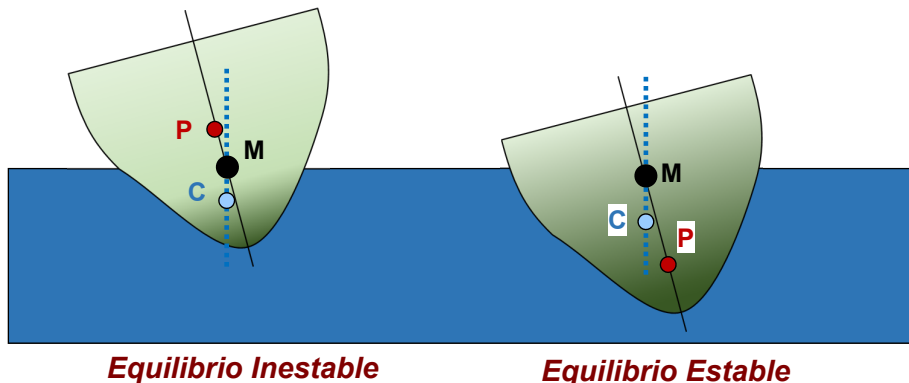
Equilibrio Estable

Al ubicar el peso en el fondo del barco no cambia la flotabilidad del barco, C sigue en el mismo sitio, pero desciende P; consecuencia de ello es que **augmenta la estabilidad**

52

3.- Flotabilidad y Estabilidad (XII)

Equilibrio de Cuerpos Parcialmente Sumergidos (VI)



Al lastrar un barco (introducir peso en el fondo) desciende la posición de P, el barco se sumerge, y C también se modifica (desciende en cota, pero asciende respecto a su posición relativa en el barco) \Rightarrow **aumenta la estabilidad** (aunque disminuye la flotabilidad)

53

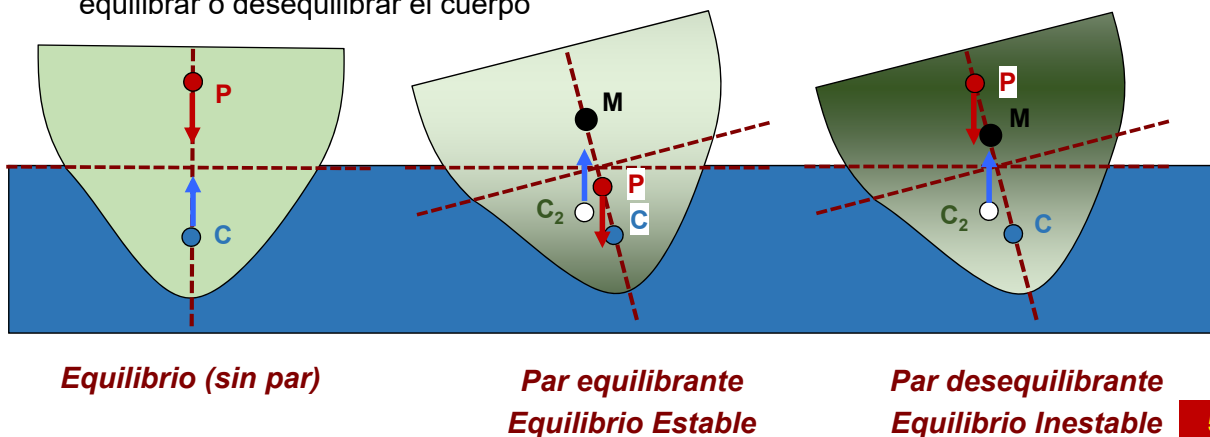
3.- Flotabilidad y Estabilidad (XIII)

Estudio de la Estabilidad de Cuerpos Flotantes (I)

Cálculo de la distancia entre el M y C

Al girar un cuerpo en equilibrio un ángulo α (pequeño) C se desplaza a C_2

Con el desalineamiento del Peso y el Empuje surge un par de fuerzas que puede equilibrar o desequilibrar el cuerpo

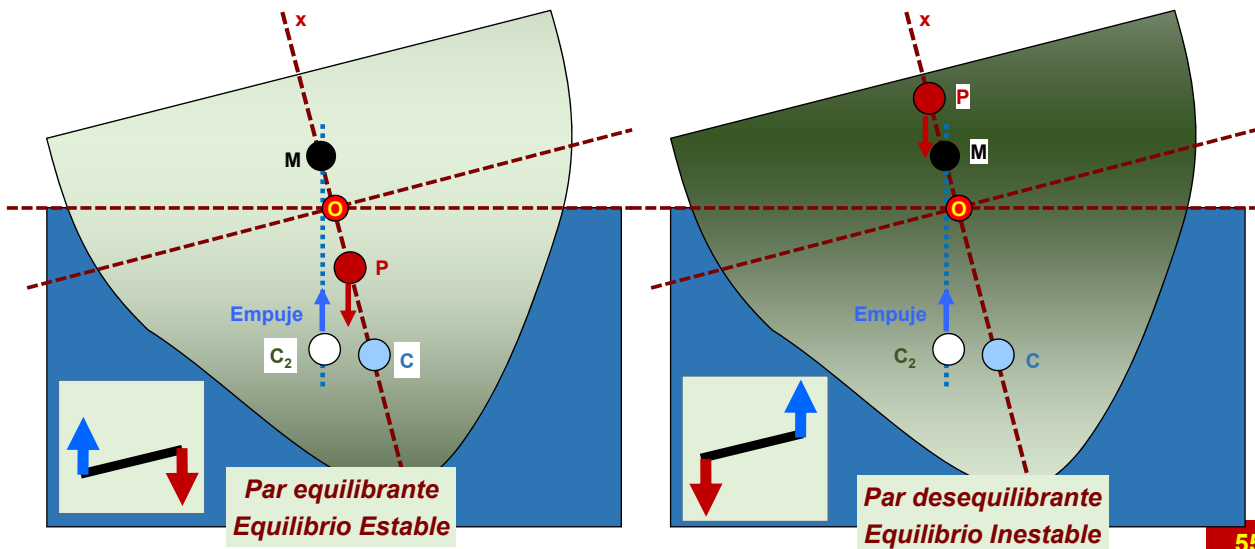


54

3.- Flotabilidad y Estabilidad (XIV)

Estudio de la Estabilidad de Cuerpos Flotantes (I)

Cálculo de la distancia entre el M y C



55

3.- Flotabilidad y Estabilidad (XV)

Estudio de la Estabilidad de Cuerpos Flotantes (II)

Cálculo de la distancia entre el M y C

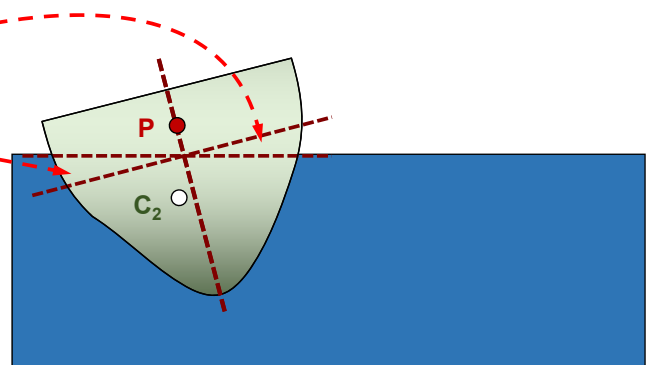
Al girar un cuerpo en equilibrio un ángulo α (pequeño) C se desplaza a C_2

Con el desalineamiento del Peso y el Empuje surge un par de fuerzas que puede equilibrar o desequilibrar el cuerpo

Aparece una sección emergida y otra sumergida que, para ángulos pequeños, se pueden considerar como dos cuñas (cñ) simétricas triangulares

Es equivalente realizar el estudio del equilibrio considerando:

- El peso en P y el empuje en C_2



56

3.- Flotabilidad y Estabilidad (XV)

Estudio de la Estabilidad de Cuerpos Flotantes (II)

Cálculo de la distancia entre el M y C

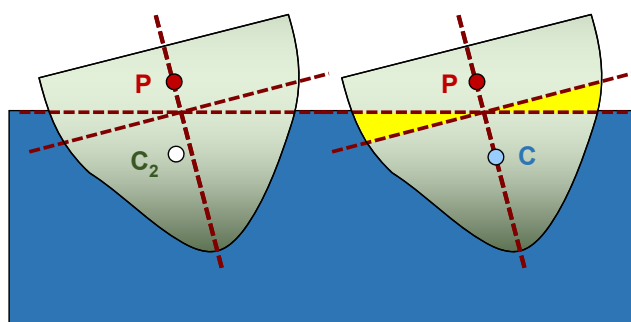
Al girar un cuerpo en equilibrio un ángulo α (pequeño) C se desplaza a C_2

Con el desalineamiento del Peso y el Empuje surge un par de fuerzas que puede equilibrar o desequilibrar el cuerpo

Aparece una sección emergida y otra sumergida que, para ángulos pequeños, se pueden considerar como dos cuñas simétricas triangulares

Es equivalente realizar el estudio del equilibrio considerando:

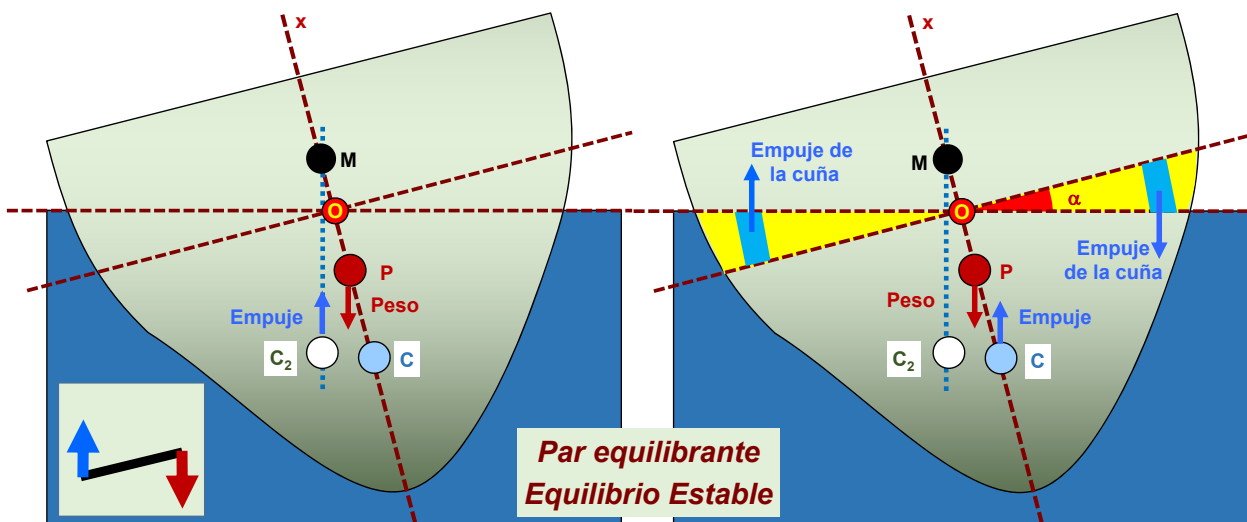
- El peso en P y el empuje en C_2
- El peso en P y sumar al empuje inicial en C el efecto de las cñ



3.- Flotabilidad y Estabilidad (XVI)

Estudio de la Estabilidad de Cuerpos Flotantes (II)

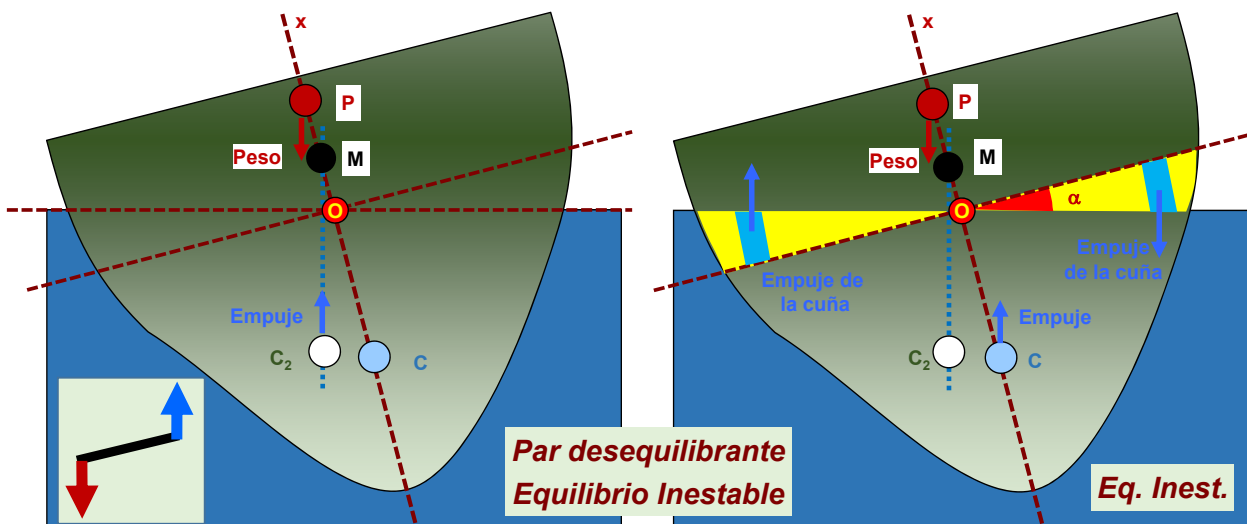
Cálculo de la distancia entre el M y C



3.- Flotabilidad y Estabilidad (XVI)

Estudio de la Estabilidad de Cuerpos Flotantes (II)

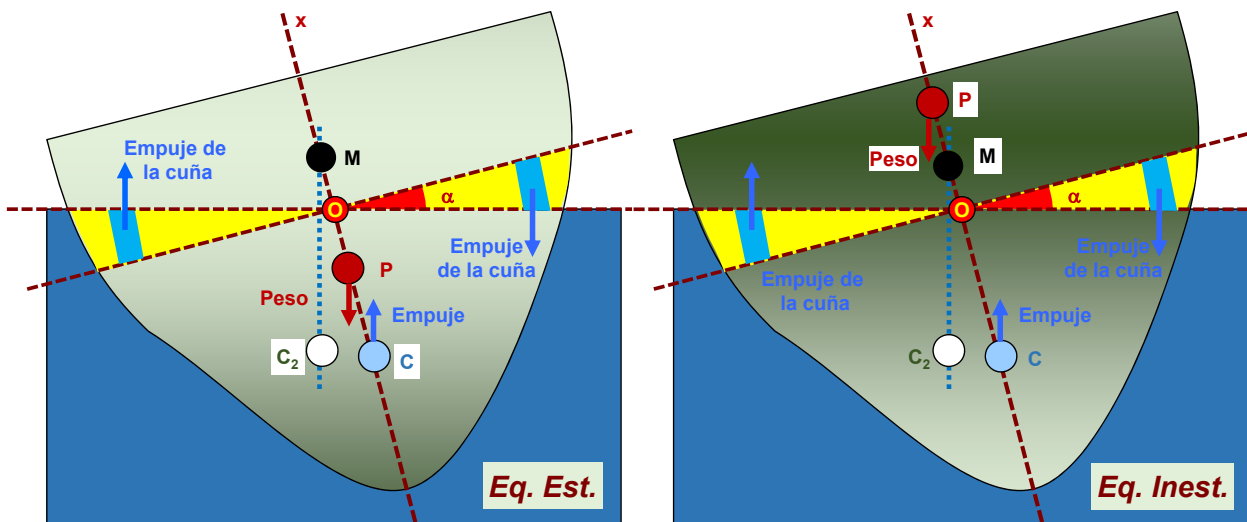
Cálculo de la distancia entre el M y C



3.- Flotabilidad y Estabilidad (XVII)

Estudio de la Estabilidad de Cuerpos Flotantes (II)

Cálculo de la distancia entre el M y C



3.- Flotabilidad y Estabilidad (XVIII)

Estudio de la Estabilidad de Cuerpos Flotantes (III)

Cálculo de la distancia entre el M y C

Al girar un cuerpo en equilibrio un ángulo α (pequeño) C se desliza a C_2

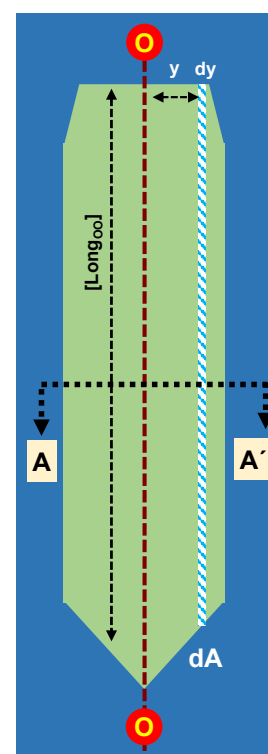
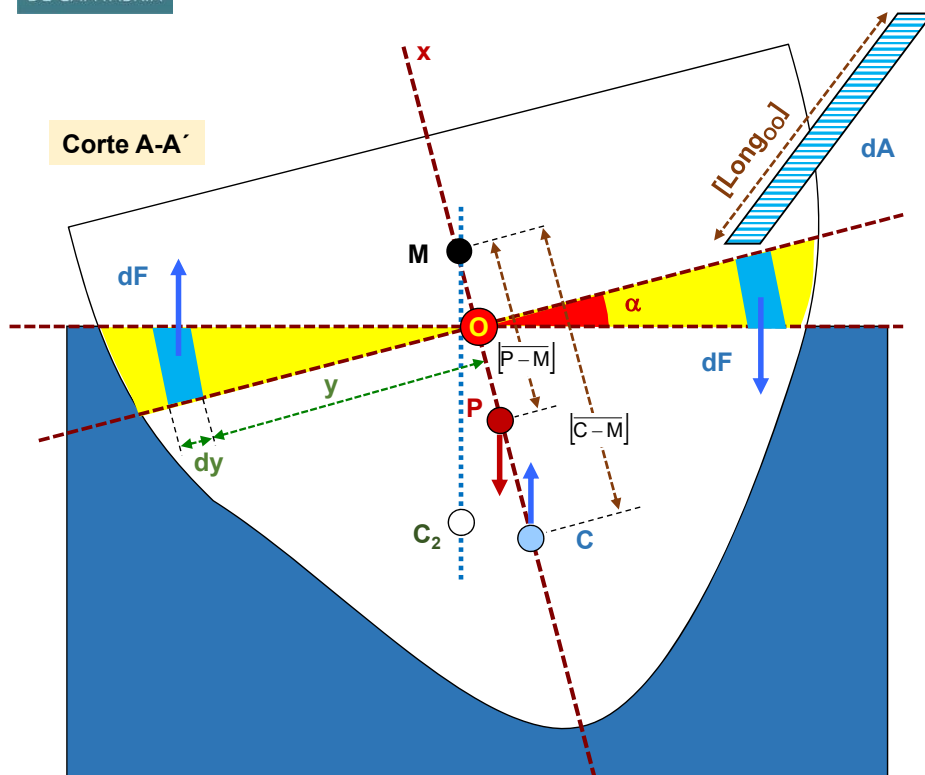
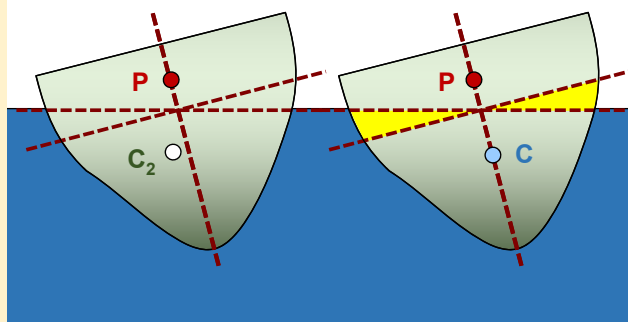
Con el desalineamiento del Peso y el Empuje surge un par de fuerzas que puede equilibrar o desequilibrar el cuerpo

Comparando el equilibrio en los casos:

- El peso en P y el empuje en C_2
- El peso en P y sumar al empuje inicial en C el efecto de las $cñ$

Se puede eliminar el efecto del P y por lo tanto igualar el efecto de:

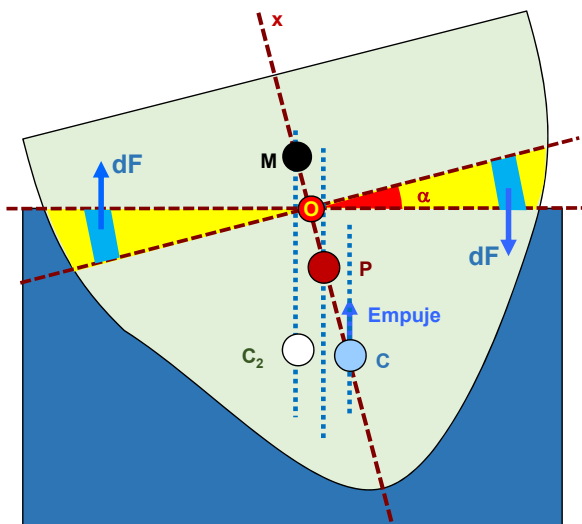
- Sumar al empuje inicial en C el efecto de las $cñ$
- El empuje en C_2



3.- Flotabilidad y Estabilidad (XIX)

Estudio de la Estabilidad de Cuerpos Flotantes (IV)

Cálculo de la distancia entre el M y C



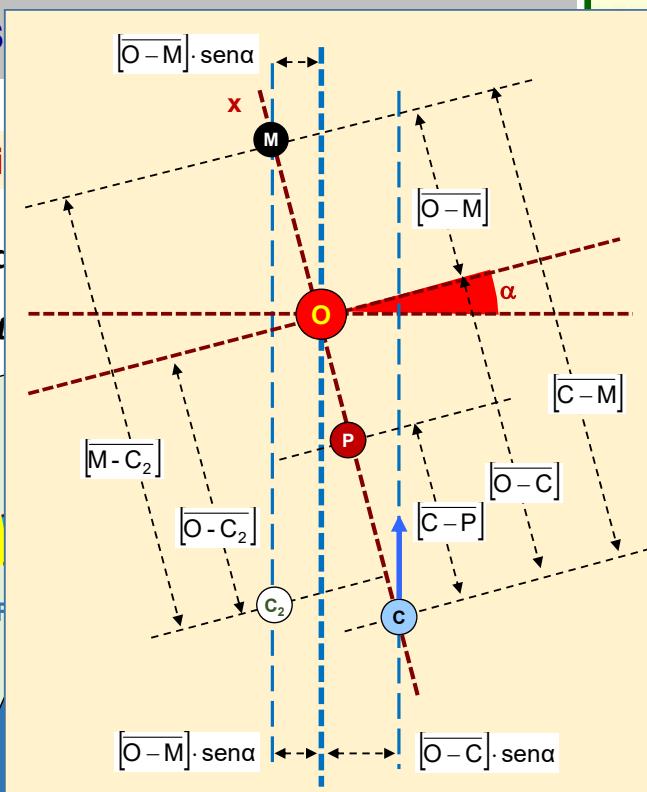
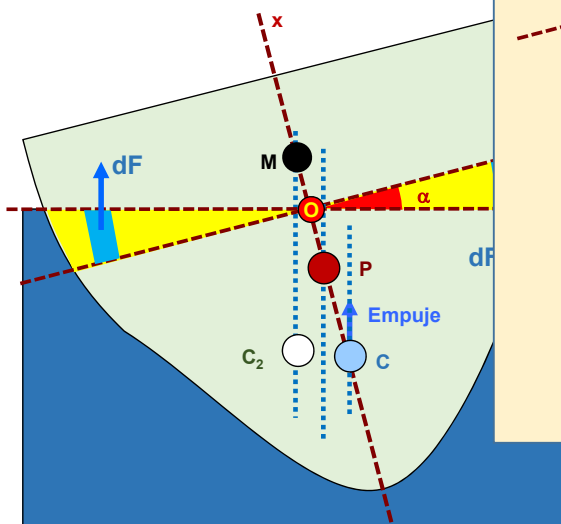
Estudiando el equilibrio considerando:

- El empuje inicial en C el efecto de las cñ
 - Las cuñas tienen un efecto estabilizante
 - El empuje tiene un efecto desestabilizante

3.- Flotabilidad y Estabi

Estudio de la Estabilidad d

Cálculo de la distancia ent

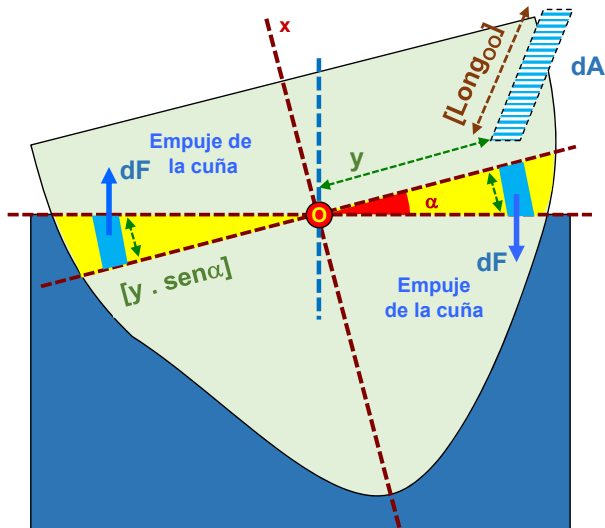
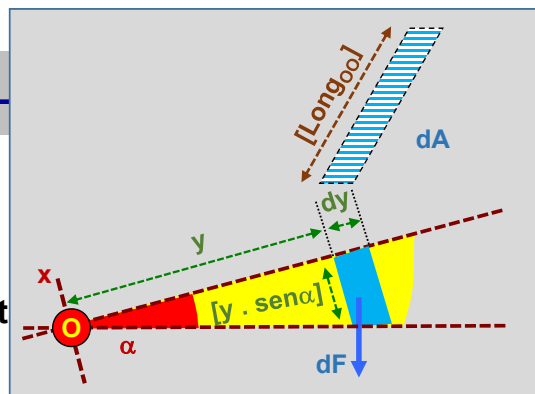


cñ
te

3.- Flotabilidad y Estabilidad (XX)

Estudio de la Estabilidad de Cuerpos Flotantes

Cálculo de la distancia entre el M y C



Estudiando el Momento creado por las cuñas, $M_{cñ}$ respecto al eje OO

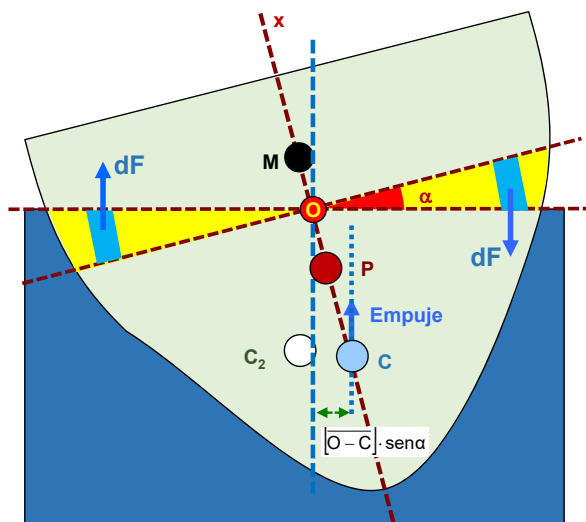
$$M_{cñ} = \gamma_F \cdot \text{sen}\alpha \cdot l_{OO}$$



3.- Flotabilidad y Estabilidad (XXI)

Estudio de la Estabilidad de Cuerpos Flotantes (VI)

Cálculo de la distancia entre el M y C



Estudiando el Momento creado por el o-empuje inicial en C respecto al eje OO

$$M_{Emp-C} = \text{Empuje} \cdot \left(\overline{O-C} \cdot \text{sen}\alpha \right) = \left| E = \gamma_F \cdot V_c \right|$$

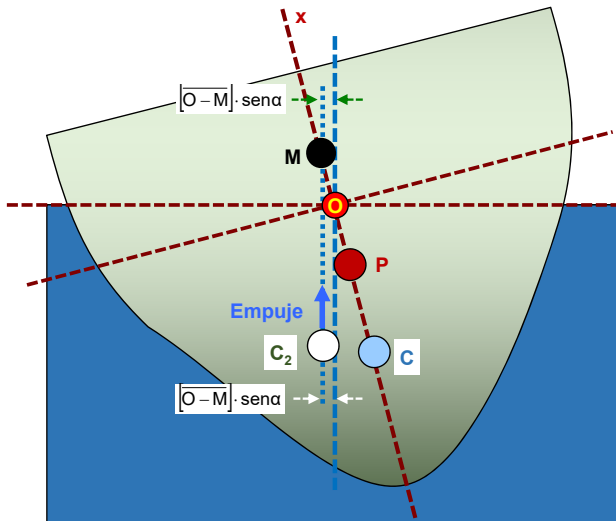
$$= \gamma_F \cdot V_c \cdot \left(\overline{O-C} \cdot \text{sen}\alpha \right)$$

$$M_{Emp-C} = \gamma_F \cdot V_c \cdot \left(\overline{O-C} \cdot \text{sen}\alpha \right)$$

3.- Flotabilidad y Estabilidad (XXII)

Estudio de la Estabilidad de Cuerpos Flotantes (VII)

Cálculo de la distancia entre el M y C



Estudiando el equilibrio considerando:

- El empuje en C_2

Estudiando el Momento creado por el empuje en C_2 respecto al eje OO

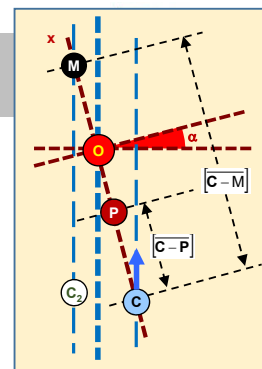
$$M_{Emp-C_2} = \gamma_F \cdot V_c \cdot ([O-M] \cdot \text{sen} \alpha)$$

67

3.- Flotabilidad y Estabilidad (XXIII)

Estudio de la Estabilidad de Cuerpos Flotantes (VIII)

Cálculo de la distancia entre el M y C



Estudiando el equilibrio considerando:

- El empuje inicial en C el efecto de las cñ
 - Las cuñas tienen un efecto estabilizante
 - El empuje tiene un efecto desestabilizante
- El empuje en C_2

$$M_{cñ} = \gamma_F \cdot \text{sen} \alpha \cdot l_{OO}$$

$$M_{Emp-C} = \gamma_F \cdot V_c \cdot ([O-C] \cdot \text{sen} \alpha)$$

$$M_{Emp-C_2} = \gamma_F \cdot V_c \cdot ([O-M] \cdot \text{sen} \alpha)$$

$$[C-M] = \frac{l_{OO}}{V_c}$$

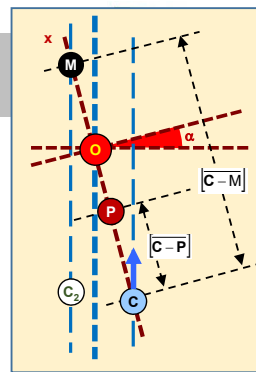
68

3.- Flotabilidad y Estabilidad (XXIV)

Estudio de la Estabilidad de Cuerpos Flotantes (IX)

Cumplimiento de la condición de estabilidad

- M por encima de P: **Equilibrio estable** $[C-M] > [C-P]$
- M y P en el mismo pto: **Equilibrio indiferente** $[C-M] = [C-P]$
- M por debajo de P: **Equilibrio inestable** $[C-M] < [C-P]$
- Distancia [C-M] $[C-M] = \frac{I_{00}}{V_c}$



CONDICIÓN DE ESTABILIDAD:

$$\frac{I_{00}}{V_c} > [C-P]$$

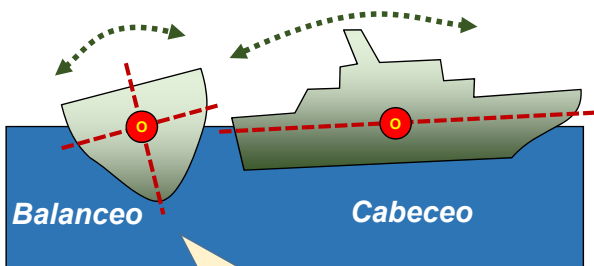
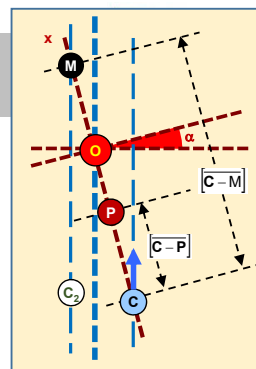
Comprobar estabilidad frente al Momento de Inercia menor del cuerpo

3.- Flotabilidad y Estabilidad (XXV)

CONDICIÓN DE ESTABILIDAD: $\frac{I_{00}}{V_c} > [C-P]$

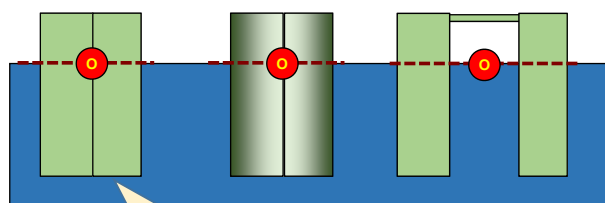
$$I = \sum_i m_i \cdot r_i^2 \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$$

Comprobar estabilidad frente al Momento de Inercia menor del cuerpo



Menos estable

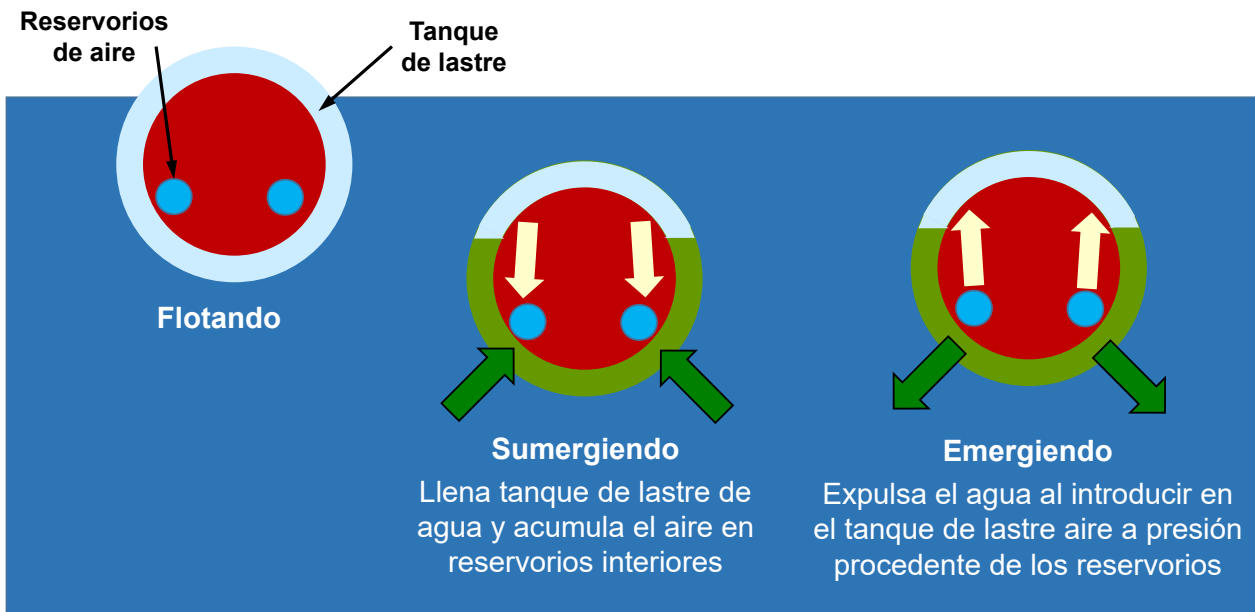
Al aumentar r aumenta I_{00} y por lo tanto la estabilidad



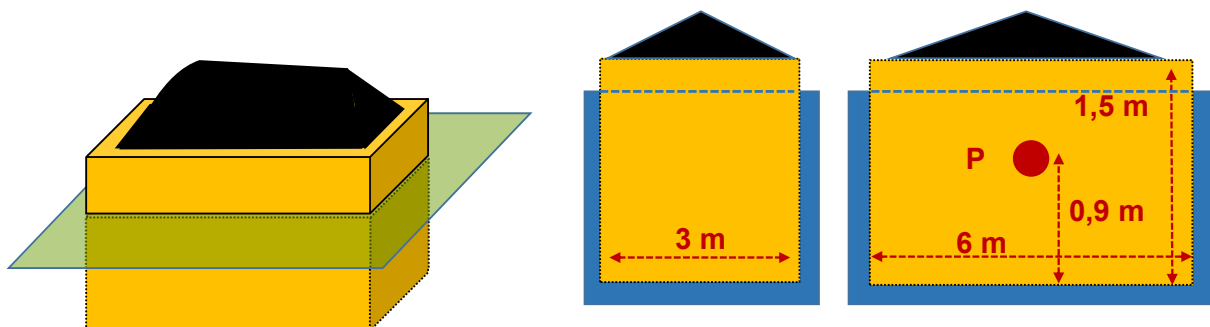
Menos estable

Al alejar las masas del centro aumenta I_{00} y por lo tanto la estabilidad

3.- Flotabilidad y Estabilidad (XXVI)



Calcular si la chalana de la Figura **es estable** cuando está totalmente cargada (peso total 20.000 kg)



Dado un cubo de lado a y peso específico γ_C determinar las condiciones de **estabilidad** al estar en un fluido de peso específico γ_L

