

Evaluación:

- 20% : Laboratorio (No ayuda a aprobar - sólo a subir nota)
- 80% : Exámenes (Nota > 5)
 - ↳ □ 5% Prueba Inicial (Test - Temas 1 y 2)
 - ↳ □ 15% Intercuatrimestral (Test: 35% ; Problemas: 65% - Temas 1, 2, 3, 4)
 - ↳ □ 60% Final (Test: 35% - Temas 5, 6, 7, 8 ; Problemas: 65% $\forall$ temas) (Nota > 3)

Tema 1:

- Definición de un fluido y tipos de fluidos
 - Propiedades de los fluidos
 - Densidad
 - Presión

} Elasticidad Volumétrica

 - Viscosidad
 - Presión
 - Tensión superficial
- Test
- Problemas

Fluidos: Definición y Clasificación

- Algo se comporta como un fluido cuando no es capaz de resistir tensiones tangenciales sin deformarse continuamente: Si hay esfuerzo cortante $\rightarrow$ hay movimiento

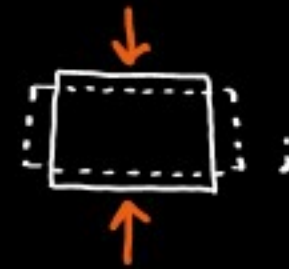
$\hookrightarrow$ Nótese que, ante una tensión tangencial, un sólido podría $\begin{cases} \text{no deformarse} \\ \text{deformarse estáticamente} \end{cases}$

Tipos de esfuerzos:

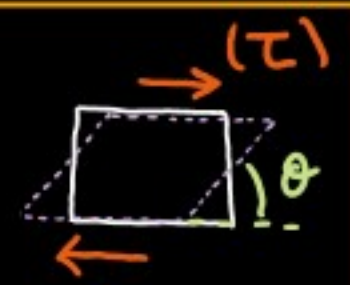


Tracción

; Compresión



Cortante
Tangencial

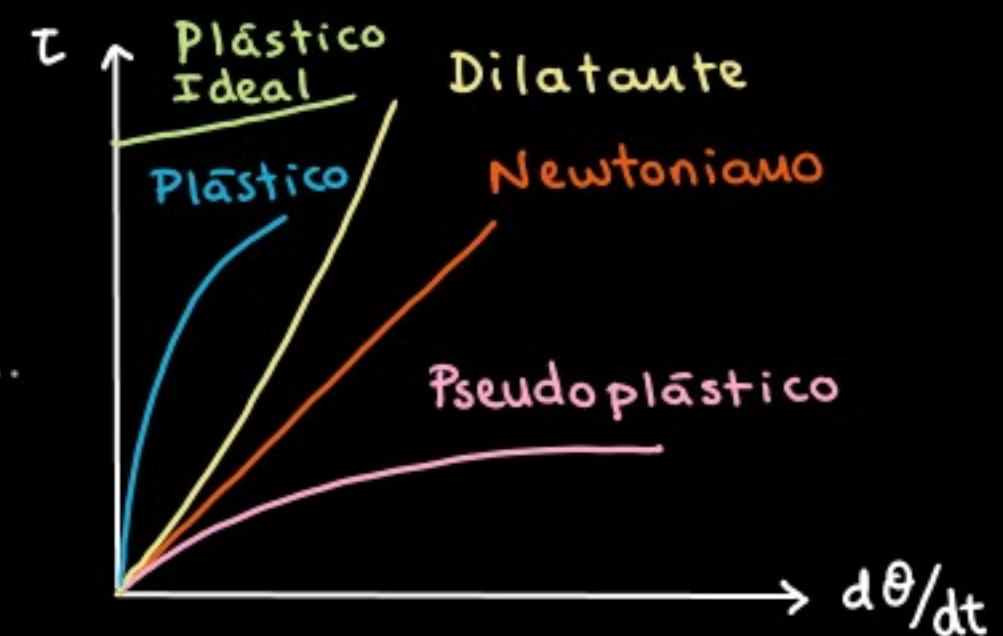


- Los fluidos también se caracterizan por tener baja cohesión molecular (vs sólidos)
 - $\hookrightarrow$ los líquidos experimentan fuerzas cohesivas mayores que dan pie a la tensión superficial, y en consecuencia, a la formación de interfaces entre fluidos no miscibles
 - $\hookrightarrow$ Separación entre moléculas líquidas $\sim$ diámetro; en gases $\sim 10 \times$ diámetro

Clasificación

Los fluidos se suelen clasificar en:

- Newtonianos ($\theta \propto \tau dt$); $\mu \approx \mu(\tau) \rightarrow$ agua, aire, aceite, gasolina...
 $\swarrow$ viscosidad (mayoría de fluidos)
- No Newtonianos ($\theta \not\propto \tau dt$); $\mu = \mu(p, T, t, \frac{dv}{dy}, \dots) \rightarrow$ Reología

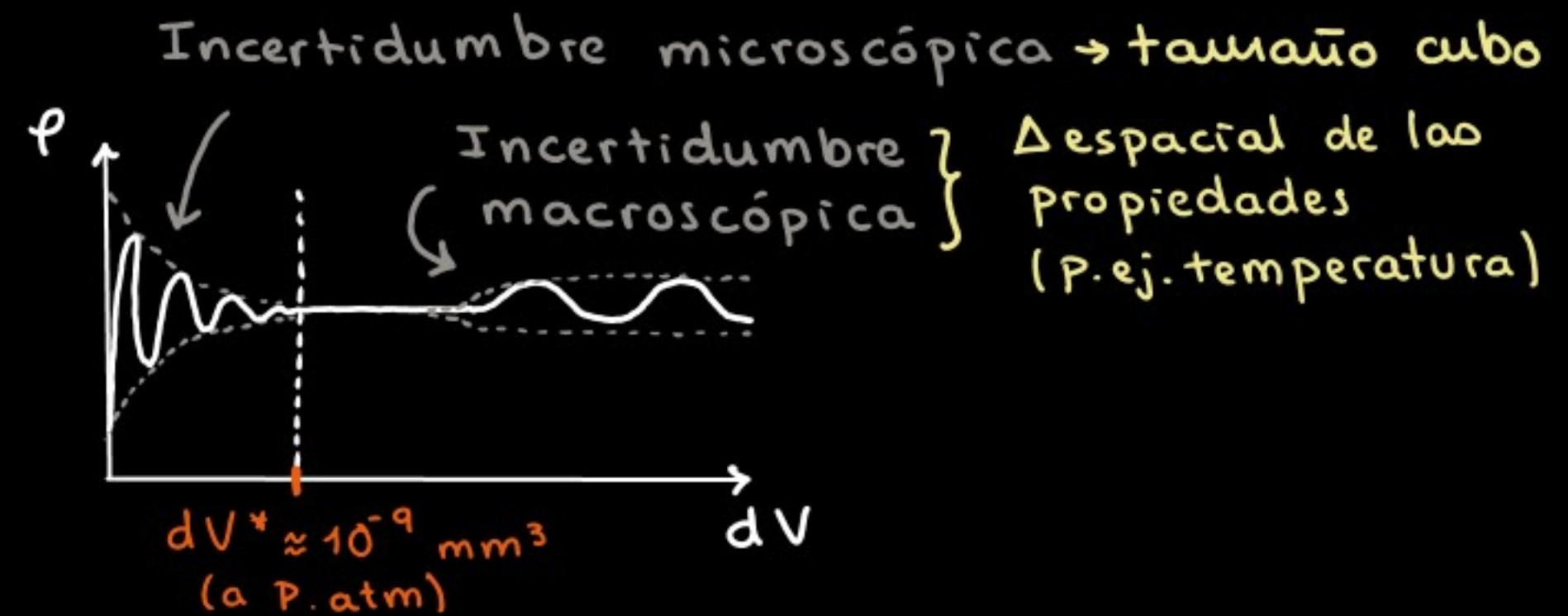
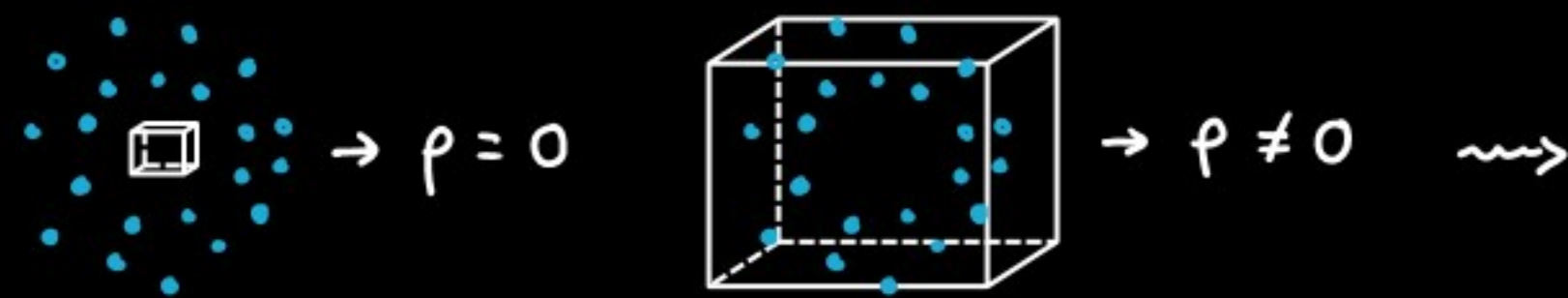


Fluido como medio continuo

Como las moléculas de un fluido no están fijas en una red, sino que se mueven libremente, aquellas propiedades del fluido que dependen del volumen tienen que estudiarse cuidadosamente.

Un ejemplo de esto podría ser la densidad $\equiv$ masa por unidad de volumen, que habla de "cuánto pesa" un cierto volumen del material (por ejemplo un cubo  $dV = dx dy dz$).

En el caso de los fluidos la respuesta depende del tamaño del cubo:



El tratamiento de los fluidos como medios continuos es fundamental ya que nos permite utilizar el cálculo diferencial para estudiar sus propiedades. ⚠

Propiedades (1/5) : Intro + Densidad



La propiedad "más importante" en la mecánica de fluidos es el campo de velocidades

$$\hookrightarrow \vec{v} = v(x, y, z, t) = u(x, y, z, t) \hat{i} + v(x, y, z, t) \hat{j} + w(x, y, z, t) \hat{k} \rightarrow \text{Temas 3 y 4}$$

Ahora bien, el campo de velocidades interactúa con las propiedades termodinámicas del flujo

• Las más importantes

$\left\{ \begin{array}{l} \cdot \rho \equiv \text{Densidad} \\ \cdot p \equiv \text{Presión} \\ \cdot T \equiv \text{Temperatura} \end{array} \right.$	$\rightarrow \text{balances energéticos :}$	$\left\{ \begin{array}{l} \cdot u \equiv \text{Energía interna} \\ \cdot h \equiv \text{Entalpía } (u + p/\rho) \\ \cdot s \equiv \text{Entropía} \\ \cdot \mu \equiv \text{viscosidad (fricción)} \end{array} \right.$
--	---	---

□ Densidad $\equiv \rho \text{ [kg/m}^3\text{]}$ $\hookrightarrow$ En una sustancia con una sola fase, toda propiedad se puede determinar a partir de p y T : $\rho = \rho(p, T)$

• El uso de la hipótesis de medio continuo no previene la posibilidad de discontinuidades (producidas por cambios de fase o por ondas de choque en fluidos compresibles)

• Líquidos ~ Incompresibles; 10^3 veces más densos que los gases $\rho_{liq}(p, T) \approx \rho(T)$

$$\hookrightarrow \rho_{rel} = \frac{\rho_{liq}}{\rho_{H_2O}} ; \quad \rho_{H_2O} \approx 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]} ; \rho_{Hg} \approx 13600 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

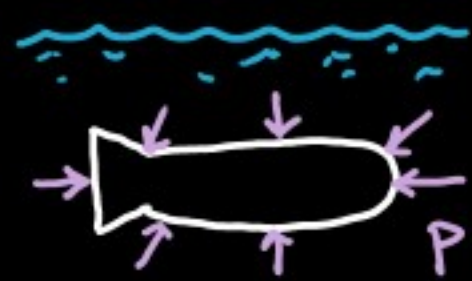
• Gases ~ Compresibles $\rightarrow$ $\rho_{gas} = \rho(p, T)$ (con grandes fluctuaciones)

$$\hookrightarrow \rho \propto (P/T) : \text{Gas ideal } \rho = P/(RT) ; \rho_{rel} = \frac{\rho_{gas}}{\rho_{aire}} ; \quad \rho_{aire} (P=1 \text{ bar}, T=20^\circ\text{C}) = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$R = 287 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg K}} \right]$
 $\downarrow$

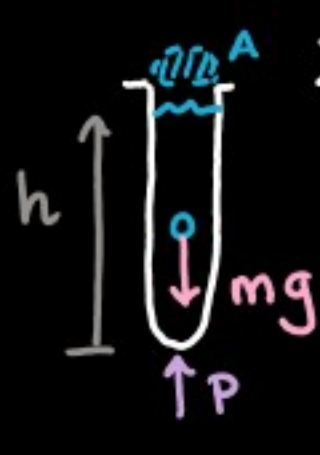
Propiedades (2/5) : Presión

$$\square \text{ Presión} \equiv p \text{ [Pa} \equiv \text{N/m}^2 \text{]}$$



Esfuerzo de compresión
en un fluido en reposo
 $p = p(x, y, z, t)$

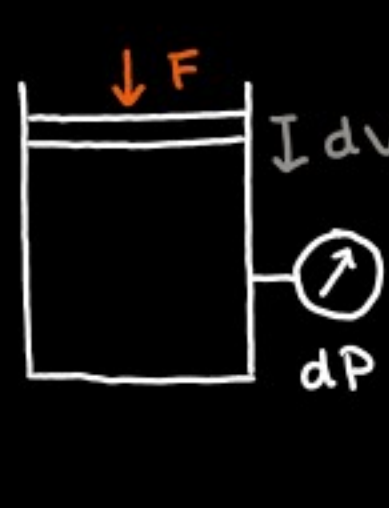
- La presión es una magnitud definida escalarmente, que genera una fuerza $\vec{F} = p \cdot \underbrace{d\vec{A}}_{\perp \text{ superficie}}$
- Después del campo de velocidades, la presión es la variable más relevante en fluidos:
 - ↳ los gradientes de presión son generalmente los causantes del flujo (esp. en conductos)
- La presión se puede calcular a partir de la columna de fluido


$$\sum \vec{F} = 0 \text{ (Eq)} \rightarrow mg - pA = 0 \rightarrow p = \frac{mg}{A} = \frac{\rho V g}{A} = \frac{\rho h A g}{A} = \rho g h$$

↳ $p \text{ [mca]} \equiv p \text{ (} \rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{)}$
↳ $p \text{ [mmHg]} \equiv p \text{ (} \rho = 13600 \text{ kg/m}^3 \text{)} \times 10^{-3}$

$$\begin{aligned} 1 \text{ bar} &= 10^5 \text{ Pa} \\ 1 \text{ atm} &= 1,04 \text{ bar} \approx 1 \text{ bar} \\ 1 \text{ kg/cm}^2 &= 9,81 \text{ N/cm}^2 \\ &= 9,81 \times 10^4 \text{ N/m}^2 \\ &= 0,981 \text{ bar} \end{aligned}$$

- La aplicación de una presión lleva a la compresión del fluido $\leftrightarrow$ elasticidad $\equiv E \text{ [Pa]}$
módulo elasticidad volumétrica


$$E = \rho \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_T \rightarrow \int_{\rho_1}^{\rho_2} E \cdot \frac{d\rho}{\rho} = \int_{p_1}^{p_2} dp \rightarrow \rho_2 = \rho_1 \cdot e^{\Delta p / E} \quad (\rho_2 > \rho_1)$$
$$E = -V \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T \rightarrow \int_{V_1}^{V_2} E \cdot \frac{dV}{V} = \int_{p_1}^{p_2} -dp \rightarrow V_2 = V_1 \cdot e^{-\Delta p / E} \quad (V_2 < V_1)$$

$$\begin{aligned} E_{\text{aire}} &= 10^{-4} \text{ GPa} \\ E_{\text{agua}} &= 2 \text{ GPa} \\ E_{\text{acero}} &= 200 \text{ GPa} \end{aligned}$$

Propiedades (3/5) : Presión de vapor

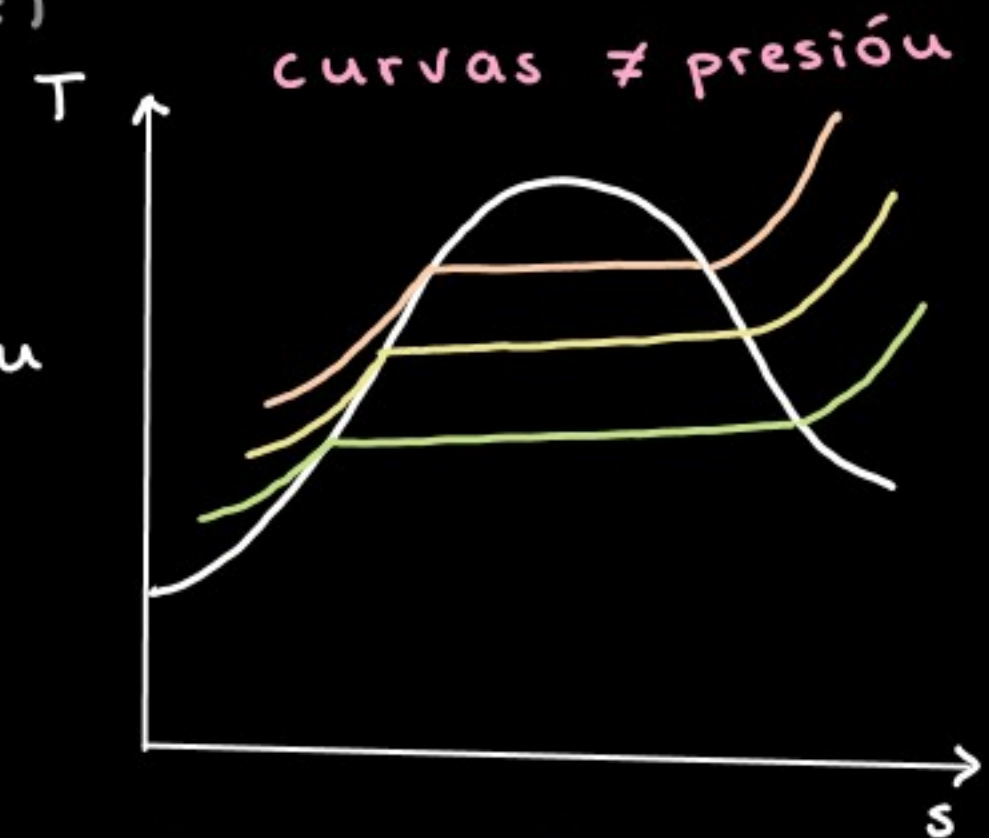
- La presión de vapor es la presión a la que el líquido hierve y está en equilibrio con su propio vapor (tbb llamada presión de saturación - P_{sat})

- Si la presión del líquido $>$ presión de vapor:

↳ La única evaporización se produce en el interfaz de separación

- Si la presión del líquido $\sim$ presión de vapor:

↳ Empiezan a aparecer burbujas de vapor en el líquido



- $P_{sat}^{H_2O} (20^\circ C) = 2337 \text{ Pa} \approx 0,023 \text{ atm} \rightarrow$ habría que reducir la presión del aire 50 veces

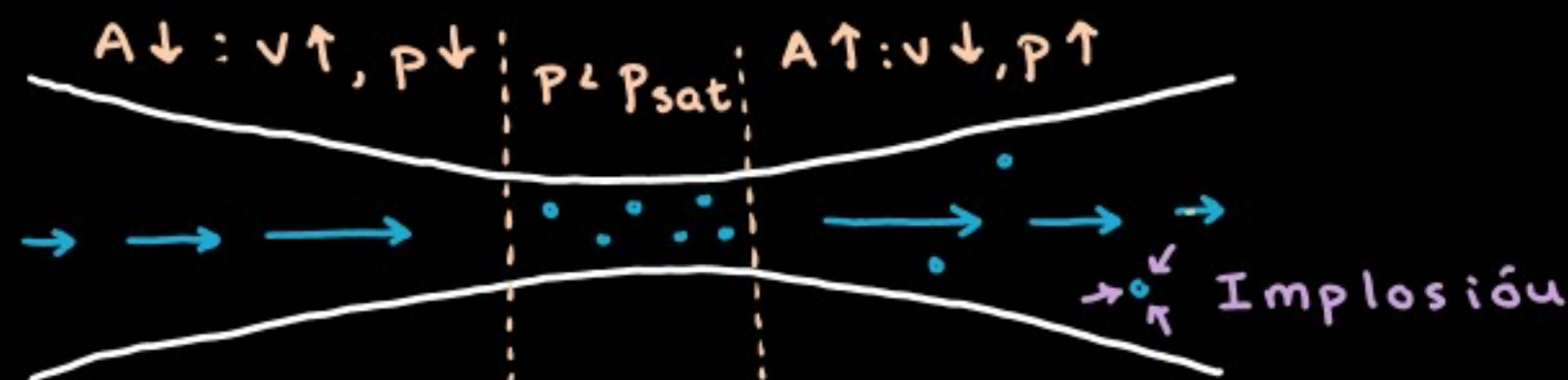
- $P_{sat}^{H_2O} (100^\circ C) = 101300 \text{ Pa} \approx 1 \text{ atm} \rightarrow$ por eso el agua "hierve a $100^\circ C$ "

- La presión de un fluido depende también de su velocidad (Bernoulli - Tema 3)

↳ cuando la presión del líquido cae por debajo de la presión de vapor debido a su velocidad (flujo) $\rightarrow$ CAVITACIÓN (Agua $\sim 15 \text{ m/s}$)

$Q = vA$

$$\frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \text{m}^2$$

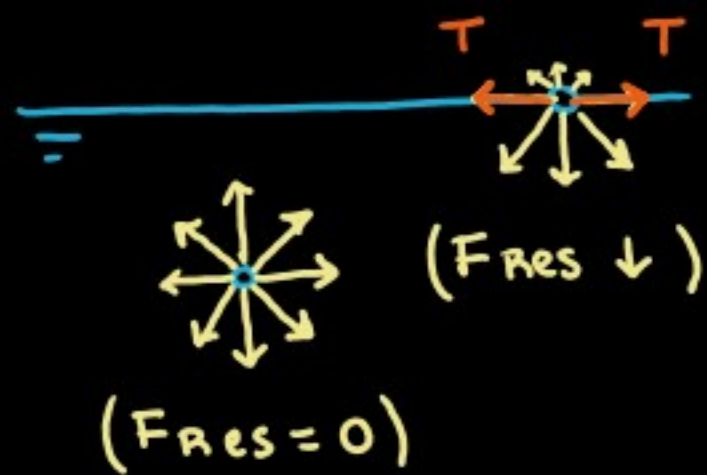


La implosión es tan tocha que erosiona hasta el acero (arrauca material)

Propiedades (4/5) : Tensión superficial (1/2)

- Debido a la diferencia de cohesión molecular entre las partículas de fluidos no miscibles se forman las interfaces

$T \equiv$ Tensión superficial



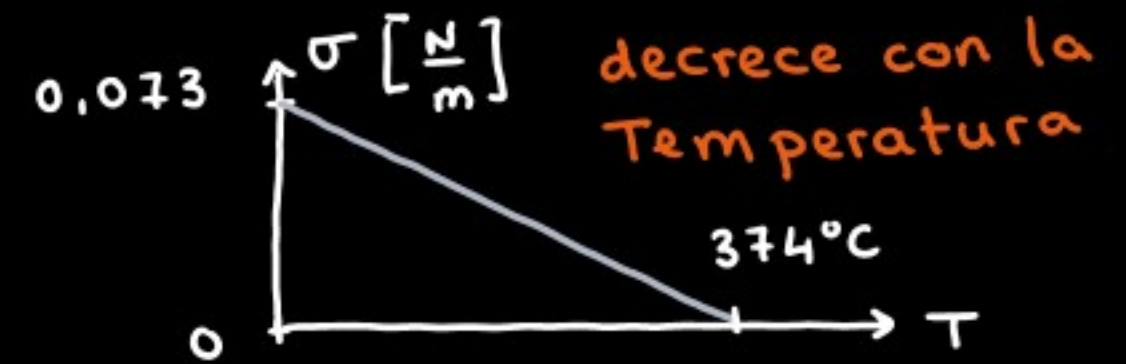
Vista superior:



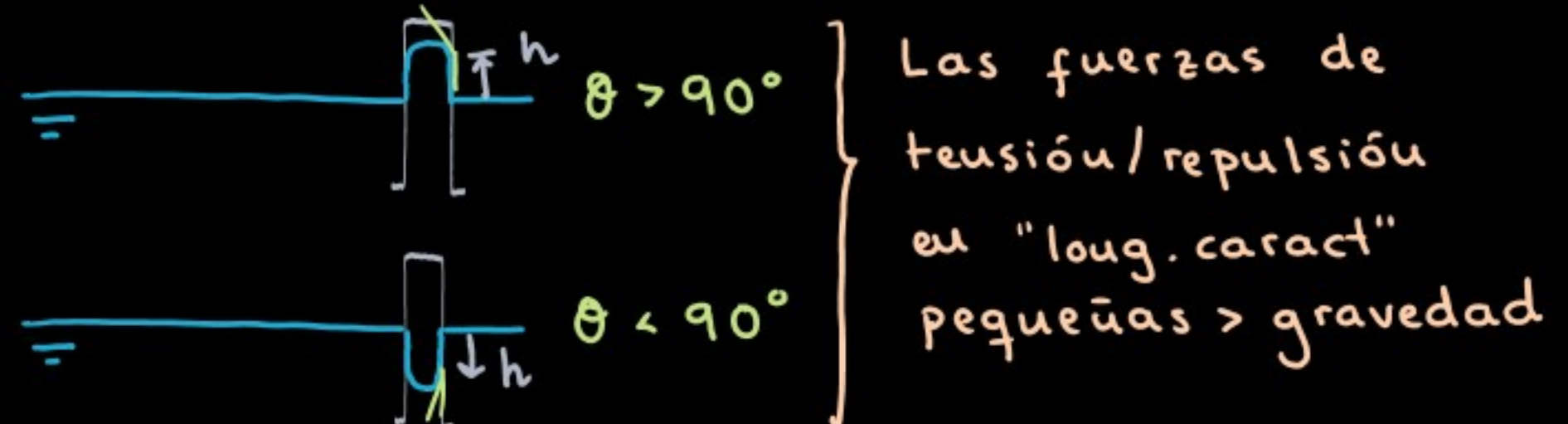
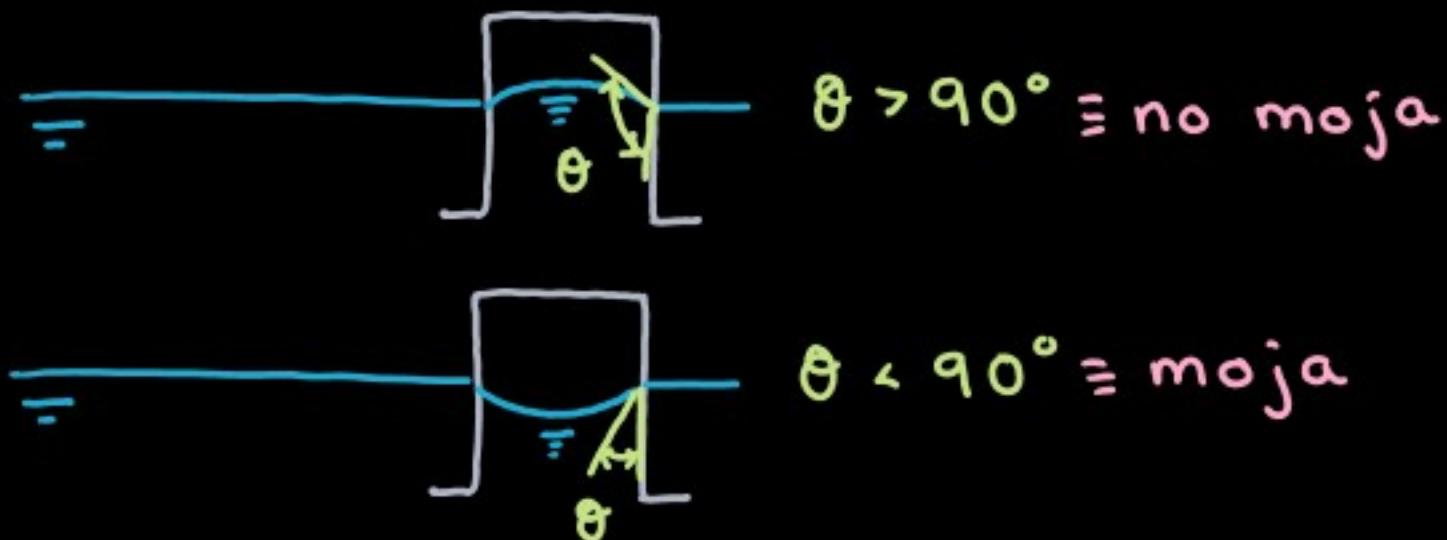
Escalar
(análogo a p)
 $T = \underline{\sigma} \cdot L \rightarrow [\sigma] = [N/m]$

Para abrir el corte hasta un espesor "e" se necesita un trabajo "w": $w = \sigma L e \rightarrow [\sigma] = [J/m^2]$

$$\sigma_{\text{Aire-H}_2\text{O}} = \sigma_0 (T = 0^\circ\text{C}) - c T:$$



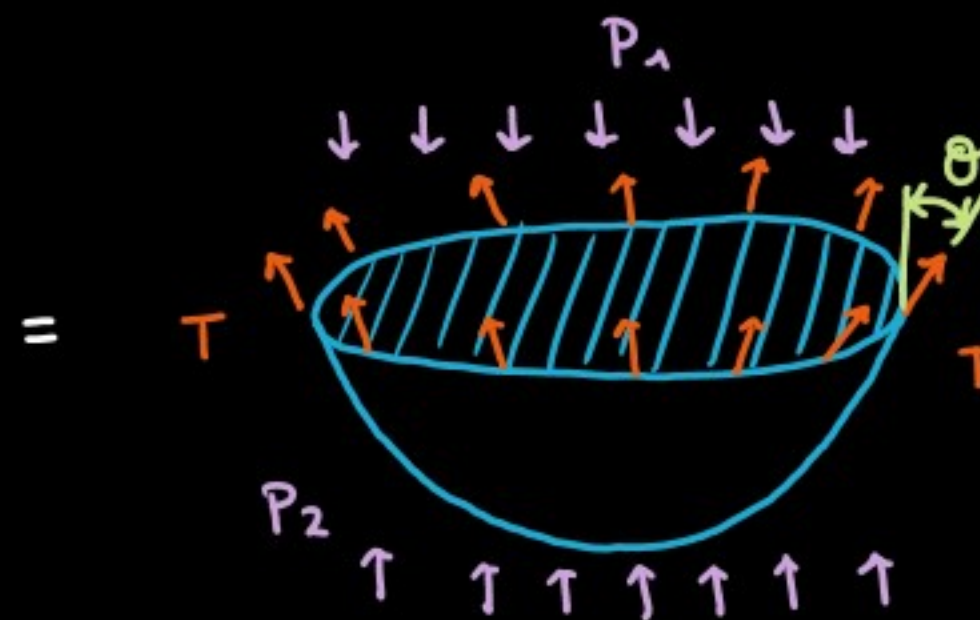
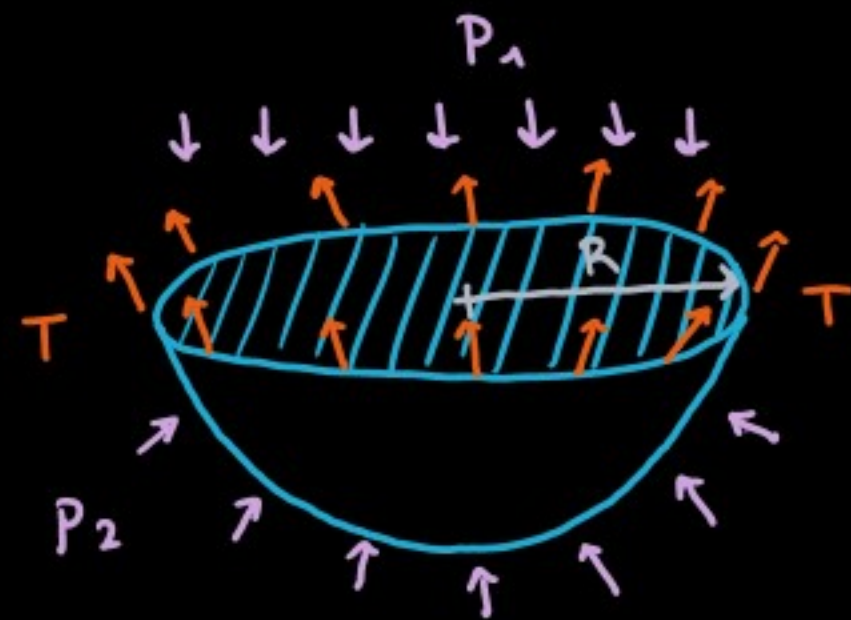
- La diferencia de fuerzas de cohesión entre las partículas de distintos fluidos y sólidos genera "meniscos" $\rightarrow$ cuando las superficies de contacto son pequeñas se generan fenómenos de "capilaridad" $\rightarrow$ ambos fenómenos dependen de la interacción entre 3 sustancias (p.ej. liq + vidrio + aire)



Las fuerzas de tensión/repulsión en "long. caract" pequeñas > gravedad

Propiedades (4/5) : Tensión superficial (2/2)

En interfaces de separación curvas hay gradientes de presión:



Eg. mecánico interfaz

$$\sigma \cdot 2\pi R \cdot \cos \theta + P_2 \cdot \pi R^2 = P_1 \pi R^2$$

$$T = \sigma \cdot 2\pi R$$

$$P_1 - P_2 = \frac{2\sigma \cos \theta}{R} \quad (P_1 > P_2)$$

(sin considerar el peso del interfaz)

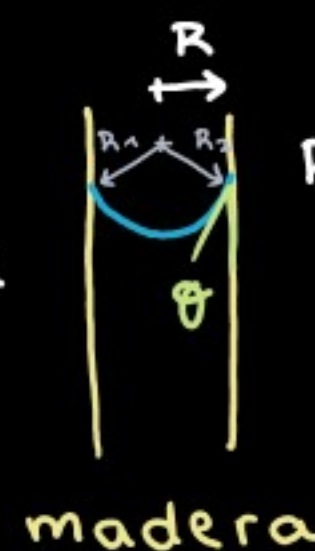
- En el caso de gotas perfectamente esféricas ($\cos \theta = 0$): $\Delta p = \frac{2\sigma}{R}$  
- En el caso de burbujas perfectamente esféricas ($\cos \theta = 0$): $\Delta p = 2 \cdot \frac{2\sigma}{R}$ ($2 \Delta p_{gota}$)
↳ 2 interfases
- Con toda generalidad: para el caso de $\neq$ interfases

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad \text{Ley de Laplace}$$

↳ Aplicado al caso de los meniscos:



cera ~> mismo material:



$$R_1 = R_2 = \frac{R}{\cos \theta}$$



$$R_1 = R_2 = \infty$$

vidrio

Propiedades (5/5): Viscosidad



- La viscosidad determina la velocidad de deformación de un fluido, consecuencia de un cortante $\frac{d\theta}{dt}$

Diagrama de un fluido entre dos placas. La placa superior se mueve a la derecha con velocidad u (cte) debido a una fuerza F . La placa inferior está fija ($v=0$). La altura del fluido es h . Se indica "DCL" (Diferencial de Control).

Se define la velocidad de deformación como el ángulo $d\theta$ por unidad de tiempo dt . En un elemento diferencial de altura dy , la velocidad u cambia a $u + du$ a lo largo de dy . Se muestra que $\tan d\theta \approx d\theta = \frac{du}{dy} dt$.

Se concluye que la velocidad de deformación coincide con el gradiente de velocidad: $\frac{d\theta}{dt} = \frac{du}{dy}$.

Se indica que el flujo puede ser laminar o turbulento, dependiendo de las condiciones.

- En fluidos Newtonianos la velocidad de deformación es proporcional al cortante aplicado

$$\tau \propto \frac{d\theta}{dt} \Rightarrow \tau = \mu \frac{d\theta}{dt} = \mu \frac{du}{dy}$$

Dimensiones: $[\tau] = [N/m^2]$, $[\mu] = [N \cdot s / m^2] = [\frac{kg}{m \cdot s}]$

Relación con la fuerza: $\{F = ma\} \rightarrow [m] = [kg] = [N \cdot s^2 / m]$

Valores típicos: $\mu_{aceite} \sim 100 \mu_{H_2O}$, $\mu_{H_2O} \sim 100 \mu_{aire}$

En un fluido ideal $\mu = 0 \Rightarrow \tau = 0$; En un fluido en reposo $du/dy = 0 \Rightarrow \tau = 0$

Si $\tau = cte \Rightarrow \frac{du}{dy} = cte \Rightarrow u(y) = v_{placa} \cdot \frac{y}{h}$ (perfil lineal)

- Los fluidos Newtonianos también cumplen

$$\mu = \mu(p, T) \approx \mu(T)$$

Test

- Líquidos: $(T \uparrow) \rightarrow (\mu \downarrow)$
- Gases: $(T \uparrow) \rightarrow (\mu \uparrow)$

- Se define la viscosidad cinemática $\nu = \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{kg/(ms)}{kg/m^3} = \frac{m^2}{s} \right]$

$$\nu_{gas} > \nu_{liq}; \nu_{liq} = \nu(T)$$

1. La tensión superficial:
 - a) Es una magnitud vectorial, se mide en N/m y depende de la temperatura y de los fluidos cuya interfase separa
 - b) Es una magnitud escalar, se mide en N/m y depende solamente de la temperatura
 - c) Es una magnitud escalar y se mide en N/m

2. Una presión de 136000 Pa equivale a ($g=10 \text{ m/s}^2$ y $\text{Densidad}_{\text{Hg}}=13600 \text{ kg/m}^3$):
 - a) 13,6 metros de columna de agua
 - b) 136 bar
 - c) 10 metros de columna de mercurio

3. La ley de Newton de la viscosidad afirma que:
 - a) Los fluidos que no tienen viscosidad no producen esfuerzos tangenciales
 - b) Si no hay variación de velocidad normal a la superficie, la viscosidad es nula
 - c) Los esfuerzos tangenciales de rozamiento son el producto de la tensión superficial por el gradiente de velocidad

4. ¿Qué unidades tiene la viscosidad cinemática?
 - a) $\text{Kg/m}\cdot\text{s}$
 - b) m/s^2
 - c) m^2/s

5. Elige la opción correcta.
 - a) $\mu_{\text{agua}} > \mu_{\text{glicerina}}$
 - b) $\nu_{\text{agua}} > \nu_{\text{aire}}$
 - c) $\nu_{\text{mercurio}} < \nu_{\text{aire}}$

1. La tensión superficial: ✗
- a) Es una magnitud vectorial, se mide en N/m y depende de la temperatura y de los fluidos cuya interfase separa ✓
- b) Es una magnitud escalar, se mide en N/m y depende solamente de la temperatura ✓
- ☒ c) Es una magnitud escalar y se mide en N/m ✗

2. Una presión de 136000 Pa equivale a ($g=10 \text{ m/s}^2$ y $\text{Densidad}_{\text{Hg}}=13600 \text{ kg/m}^3$): 3
- ☒ a) 13,6 metros de columna de agua $\rightarrow p = 1000 \cdot 10 \cdot 13,6$ ✓
- b) 136 bar $\rightarrow 136 \cdot 10^5$ ✗
- c) 10 metros de columna de mercurio $\rightarrow p = \rho g h \rightarrow 13600 \cdot 10 \cdot 10$ ✗

3. La ley de Newton de la viscosidad afirma que: ✓
- ☒ a) Los fluidos que no tienen viscosidad no producen esfuerzos tangenciales ✓
- b) Si no hay variación de velocidad normal a la superficie, la viscosidad es nula ✗
- c) Los esfuerzos tangenciales de rozamiento son el producto de la tensión superficial por el gradiente de velocidad ✗

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy}$$

4. ¿Qué unidades tiene la viscosidad cinemática?

- a) $\text{Kg/m} \cdot \text{s}$ $\rightarrow \mu$ ✗
- b) m/s^2 $\rightarrow a$ ✗
- ☒ c) m^2/s ✓

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})}{\text{kg}/\text{m}^3}$$

5. Elije la opción correcta.

- a) $\mu_{\text{agua}} > \mu_{\text{glicerina}}$
- b) $\nu_{\text{agua}} > \nu_{\text{aire}}$
- ☒ c) $\nu_{\text{mercurio}} < \nu_{\text{aire}}$ ✓

$$\left. \begin{array}{l} \mu_{\text{H}_2\text{O}} \sim 100 \mu_{\text{aire}} \\ \rho_{\text{H}_2\text{O}} \sim 1000 \rho_{\text{aire}} \end{array} \right\} \nu_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\mu_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} ; \nu_{\text{aire}} \approx \frac{\frac{1}{100} \cdot \mu_{\text{H}_2\text{O}}}{\frac{1}{1000} \rho_{\text{H}_2\text{O}}} \approx 10 \nu_{\text{H}_2\text{O}}$$

6. Para un fluido en reposo:

- a) Sólo en los gases el esfuerzo cortante es cero
- b) Tanto en gases como en líquidos el esfuerzo cortante es cero
- c) Tanto gases como líquidos pueden soportar esfuerzos cortantes muy pequeños

7. La velocidad de deformación de un fluido está directamente relacionada con:

- a) El módulo elástico
- b) La velocidad del sonido
- c) El gradiente de velocidad

8. Una pompa de jabón debe su forma esférica a la tensión superficial de la mezcla de agua con jabón con el aire que está tanto fuera como dentro de la pompa.

En tal caso, se puede afirmar que la presión de aire dentro de la pompa es

- a) mayor que la presión fuera
- b) menor que la presión fuera
- c) igual que la presión fuera

9. La viscosidad dinámica de un líquido es una función, principalmente, de

- a) La tensión superficial
- b) El stress (esfuerzo) aplicado
- c) La temperatura

6. Para un fluido en reposo:

- a) Sólo en los gases el esfuerzo cortante es cero
- ☒ b) Tanto en gases como en líquidos el esfuerzo cortante es cero
- c) Tanto gases como líquidos pueden soportar esfuerzos cortantes muy pequeños

$$\tau = \mu \frac{d\theta}{dt} \rightarrow \text{reposo} : \frac{d\theta}{dt} = 0 \rightarrow \tau = 0$$

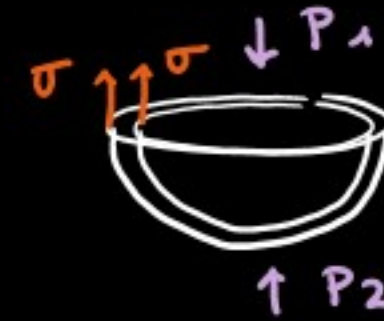
$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{d\theta}{du} \frac{du}{dt}$$

7. La velocidad de deformación de un fluido está directamente relacionada con:

- a) El módulo elástico
- b) La velocidad del sonido
- ☒ c) El gradiente de velocidad

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{du}{dy}$$

8. Una pompa de jabón debe su forma esférica a la tensión superficial de la mezcla de agua con jabón con el aire que está tanto fuera como dentro de la pompa.



En tal caso, se puede afirmar que la presión de aire dentro de la pompa es

- ☒ a) mayor que la presión fuera
- b) menor que la presión fuera
- c) igual que la presión fuera

9. La viscosidad dinámica de un líquido es una función, principalmente, de

- a) La tensión superficial
- b) El stress (esfuerzo) aplicado
- ☒ c) La temperatura

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \rightarrow \text{liq} \rightarrow \mu \approx \mu(T) \rightarrow \text{OK en gases}$$

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \rightarrow \text{gas} \rightarrow \mu \approx \mu(T, P) \rightarrow \text{NOT OK en gases}$$

$$(PV = nRT)$$

Un tubo abierto de sección cuadrada de lado L , abierto a la atmósfera se introduce en un recipiente con agua. Si el agua asciende una altura h , mojando el tubo con un ángulo θ

Responde a las DOS preguntas siguientes:

10. El salto de presiones entre el aire y el agua es:

- a) $4\sigma\cos\theta/L$
- b) $2\sigma\cos\theta/L$
- c) $\sigma\cos\theta/L$

11. La fuerza vertical que realiza la tensión superficial:

- a) $4\sigma\cos\theta L$
- b) $4\sigma\cos\theta$
- c) $\sigma\cos\theta$

Un bloque cuya masa es M se desliza sobre un plano inclinado lubricado con una película de aceite, como en la figura. La superficie de contacto del bloque con el fluido es A y el espesor de la película es h . Si se desplaza a la velocidad constante V .

Determinar, en las DOS preguntas siguientes:

12. Viscosidad cinemática

- a) $hMg\sin\theta/(VA)$
- b) $hMg\sin\theta/(\rho VA)$
- c) $hM\sin\theta/A$

13. Esfuerzo cortante

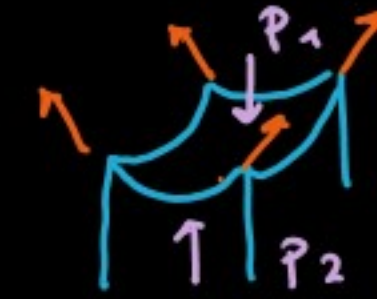
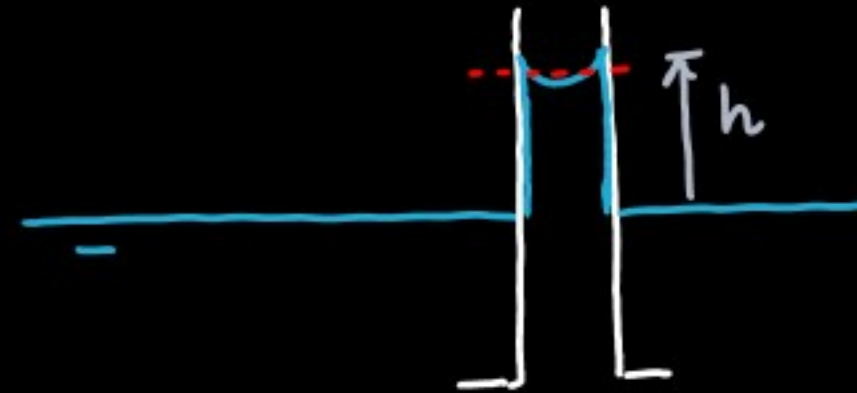
- a) $Mg\sin\theta/A$
- b) μA
- c) $hM\sin\theta/A$

Un tubo abierto de sección cuadrada de lado L , abierto a la atmósfera se introduce en un recipiente con agua. Si el agua asciende una altura h , mojando el tubo con un ángulo θ

Responde a las DOS preguntas siguientes:

10. El salto de presiones entre el aire y el agua es:

- ☒ a) $4\sigma\cos\theta/L$
- b) $2\sigma\cos\theta/L$
- c) $\sigma\cos\theta/L$



$$P_1 \cdot L^2 = \sigma \cdot \cos\theta \cdot 4L + P_2 \cdot L^2$$

11. La fuerza vertical que realiza la tensión superficial:

- ☒ a) $4\sigma\cos\theta L$
- b) $4\sigma\cos\theta$
- c) $\sigma\cos\theta$

$$P_1 - P_2 = \frac{4\sigma\cos\theta}{L} = \Delta P$$

Un bloque cuya masa es M se desliza sobre un plano inclinado lubricado con una película de aceite, como en la figura. La superficie de contacto del bloque con el fluido es A y el espesor de la película es h . Si se desplaza a la velocidad constante V .

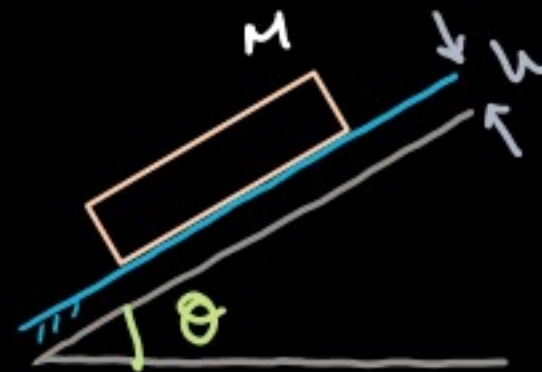
Determinar, en las DOS preguntas siguientes:

12. Viscosidad cinemática

- a) $hMg\sin\theta/(VA)$
- ☒ b) $hMg\sin\theta/(\rho VA)$
- c) $hM\sin\theta/A$

13. Esfuerzo cortante

- ☒ a) $Mg\sin\theta/A$
- b) μA
- c) $hM\sin\theta/A$



$$v = cte$$



$$v_M = cte$$

$$F_{roz} = Mg\sin\theta = \tau A$$

$$\tau = \frac{Mg\sin\theta}{A}$$

$$u = 0 + v \cdot \frac{y}{h}$$

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy} = \mu \cdot \frac{v}{h} \rightarrow \mu = \frac{Mg\sin\theta \cdot h}{v \cdot A} \rightarrow \nu = \frac{\mu}{\rho}$$