

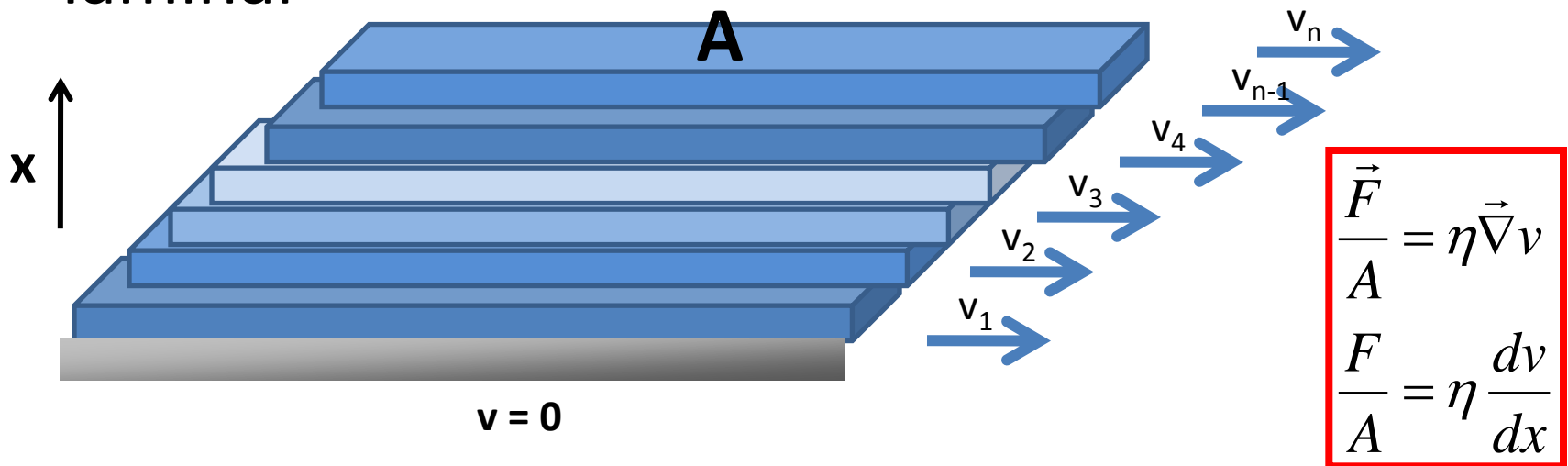
# **Tema 4. Mecánica de fluidos reales**

**Práctica 4. Ley de Stokes**

**Práctica 5. Tensión superficial de un fluido jabonoso**

# ¿Qué es un fluido real?

- Aquel en el que no se puede despreciar la interacción entre las moléculas que lo forman durante el movimiento
- Para su estudio consideramos que el flujo es laminar

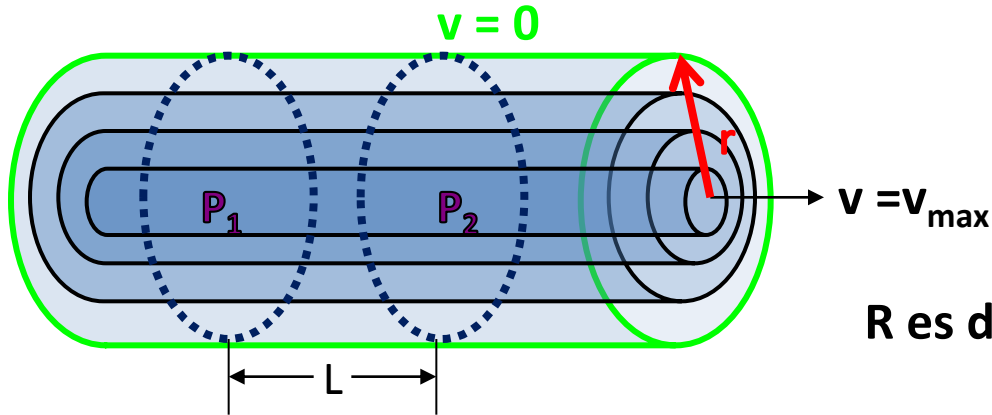


# Viscosidad

- Unidades ( $F/A = \eta \cdot v/x$ ):
  - Sistema CGS: Poise (p) =  $\text{dina} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-2}$
  - S.I. : Pa·s
  - ¿Factor de conversión?
- Valores de algunos fluidos de interés:

Fluido	T(°C)	$\eta$ (cp)
Agua	0	1,8
	20	1
Sangre	37	4,0
Glicerina	0	10000
	20	1410
Aire		0,018

# Características del flujo real



$$\Delta P = P_1 - P_2 = Q \cdot R_H$$

R es denominada resistencia hidrostática

$$v(r) = \frac{\Delta p}{4L\eta} (R^2 - r^2) \quad \text{Por la ley de Poiseuille: } R_H = \frac{8 \cdot \eta \cdot L}{\pi \cdot r^4}$$

Consecuencias de esta ley:  $r \rightarrow r/2, Q = \text{cte} \rightarrow \Delta p \rightarrow 16\Delta p$

# Ejemplo 1

- Una aguja hipodérmica tiene una longitud de 8 cm y un radio interno de 0.4 mm ¿Cuál es la resistencia hidrodinámica de la aguja al paso del agua?

Si la aguja se pone en una jeringa con un émbolo de  $3.5 \text{ cm}^2$  de área ¿con qué fuerza hay que apretar el émbolo para conseguir que el caudal de un medicamento de viscosidad 1 cp sea de  $2 \text{ cm}^3/\text{s}$  en un tejido cuya presión es de 9 mm de Hg?

# Características del flujo real

- **Número de Reynolds (Re):** se observa experimentalmente que el paso del régimen laminar al turbulento se produce cuando:

$$\bar{v} > 2000v_c \quad \text{donde} \quad v_c = \frac{\eta}{\rho \cdot \phi}$$

Entonces si denominamos número de Reynolds (Re) al cociente:

$$\text{Re} = \frac{\bar{v}}{v_c}$$

se cumplirá:  $\text{Re} < 2000 \rightarrow$  flujo laminar

$\text{Re} > 2000 \rightarrow$  flujo turbulento

## Ejemplo 2

- a) Calcular el número de Reynolds del flujo de sangre en una zona de la aorta donde el radio es 0.9 cm y la velocidad promedio, 0.33 m/s.
- b) Calcular el número de Reynolds del flujo de sangre en un capilar de 2 mm de radio, donde la sangre circula a  $0.66 \cdot 10^{-3}$  m/s

(DATOS: Densidad de la sangre  $1020 \text{ kg/m}^3$ , viscosidad 4 cp)

# Caso práctico: sedimentación

- ¿De qué depende la velocidad de caída de una partícula esférica en un fluido ideal?:
  - de la viscosidad del fluido
  - del tamaño de la esfera
- ¿Puede llegar a alcanzar una velocidad constante?
- En un fluido real: **LEY DE STOKES:  $F_r = 6 \pi \eta R v$**

$$v_{\text{límite}} = 2 g (\rho - \rho_f) R^2 / (9 \eta)$$





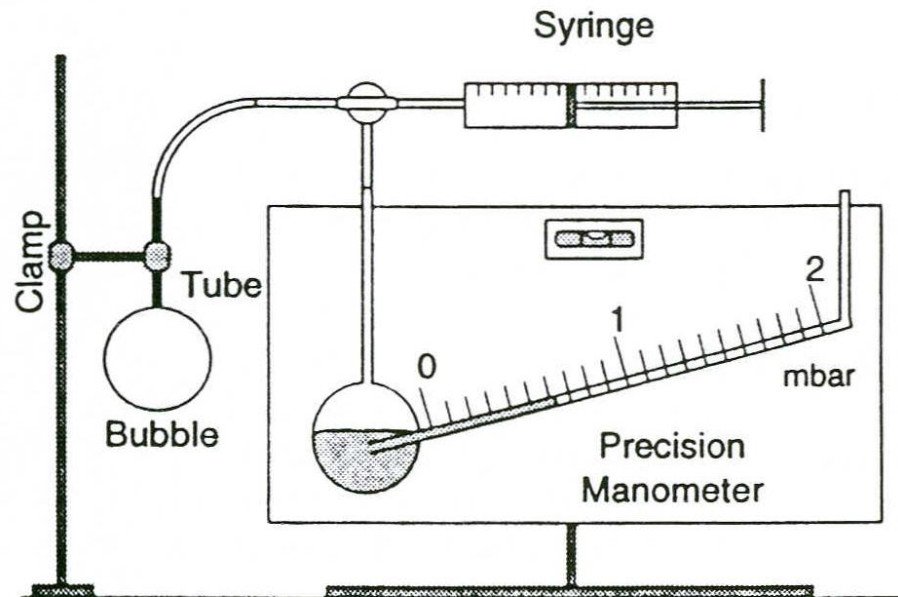
# Fenómenos de superficie en fluidos

- Nueva característica de los fluidos reales: **la tensión superficial**
- ¿Cuándo se manifiesta? CUANDO EXISTE CONTACTO ENTRE LAS DOS FASES DE UN FLUIDO (gota, burbuja, pompa)
- Caso práctico: tensión superficial de un fluido jabonoso

## FORMACIÓN DE UNA

### POMPA:

- ¿QUÉ HACE QUE NO COLAPSE o EXPLOTE?
- ¿POR QUÉ SU FORMA ES ESFÉRICA?



# Tensión superficial de un fluido

- Origen: diferencia entre la energía potencial en el interior de un fluido y en la superficie



$$U_{vol} < U_{sup}$$

La esfera minimiza la superficie del fluido respecto a su volumen

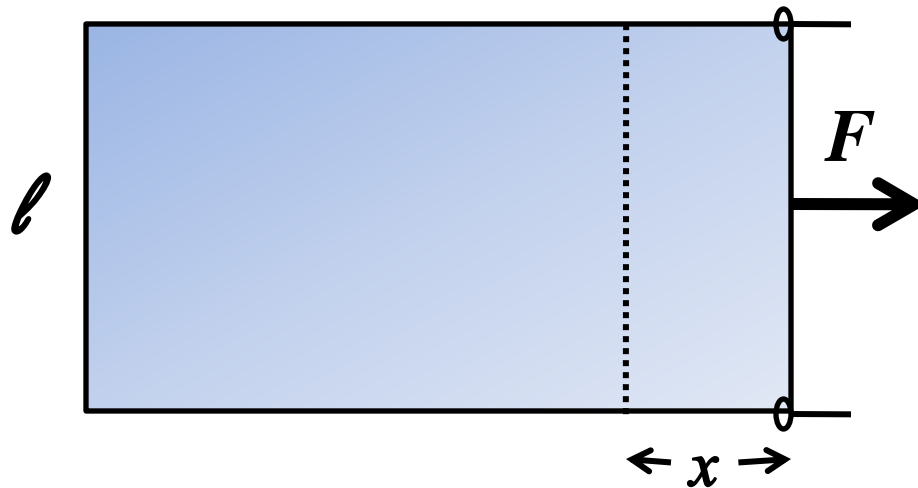
Se define la tensión superficial  $\gamma$  como:

$$\gamma = \frac{\Delta U}{S}$$

¡y depende también de la fase de contacto!

# Tensión superficial de un fluido

- ¿Cómo podemos medir  $\gamma$ ?



$$W = F \cdot x$$

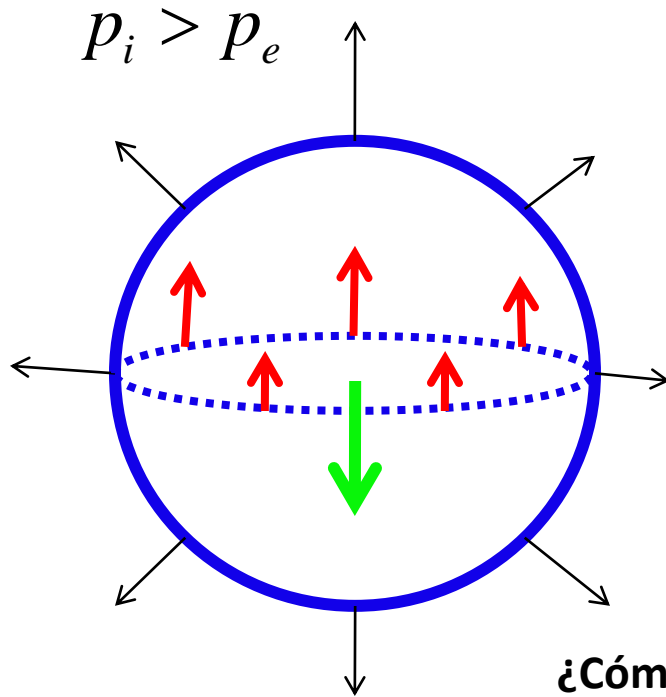
$$2 \cdot \gamma \cdot \Delta S = F \cdot x$$

$$F = 2 \cdot \gamma \cdot l$$

MÉTODO CLÁSICO:  $\gamma = \frac{F}{2 \cdot l}$

# Tensión superficial de un fluido

- **CASO PRÁCTICO:** otra forma de medir  $\gamma$



$$F = 2\gamma \cdot 2\pi \cdot r = 4\pi \cdot r \cdot \gamma$$

$$F = (p_i - p_e)\pi \cdot r^2 = \Delta p \cdot \pi \cdot r^2$$

$$\Delta p = \frac{4\gamma}{r}$$

**LEY DE LAPLACE**

¿Cómo quedaría la Ley de Laplace para la burbuja o la gota?  
¿Qué implica que  $\Delta p$  sea inversamente proporcional a  $r$ ?

# Hemos visto...

- Qué es la tensión superficial de un fluido:  
definiciones en términos de energía  $\gamma = \frac{\Delta U_{\text{sup}}}{S}$  y en  
términos de fuerza  $\gamma = \frac{F}{2 \cdot l}$
- Fenómenos debidos a la tensión superficial  
cuando se encuentran dos fases en contacto:  
formación de gotas, burbujas y pompas (Ley de  
Laplace)

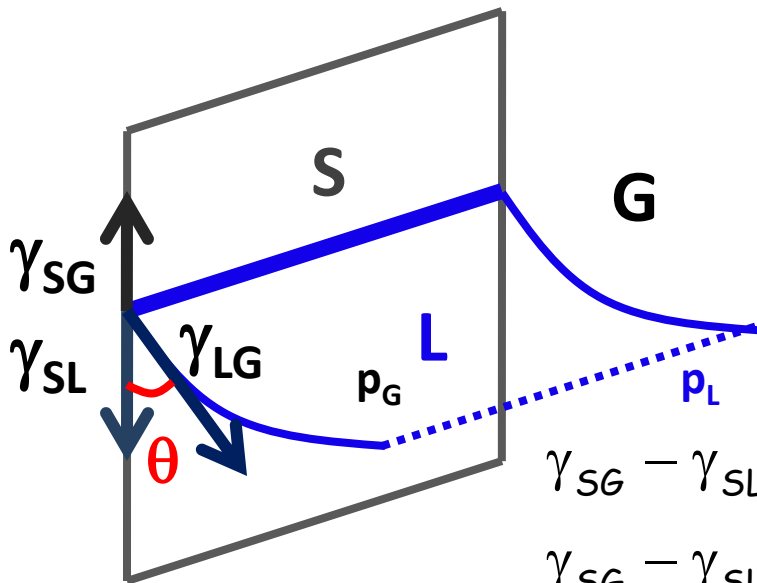
# Tensión superficial de un fluido

- ¿Qué ocurre si tenemos las tres fases en contacto?

- En el equilibrio:

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \theta$$

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}}$$

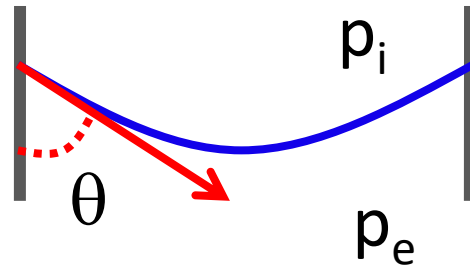


$$\gamma_{SG} - \gamma_{SL} > 0 \Rightarrow 0^\circ < \theta < 90^\circ \quad \text{MENISCO CÓNCAVO}$$

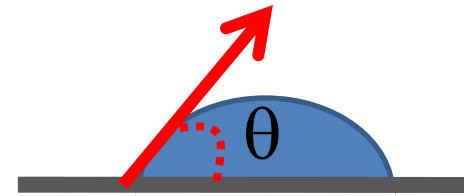
$$\gamma_{SG} - \gamma_{SL} < 0 \Rightarrow 180^\circ > \theta > 90^\circ \quad \text{MENISCO CONVEXO}$$

# Tensión superficial de un fluido

- $\theta < 90$



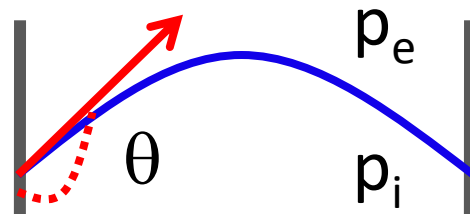
MENISCO CÓNCAVO



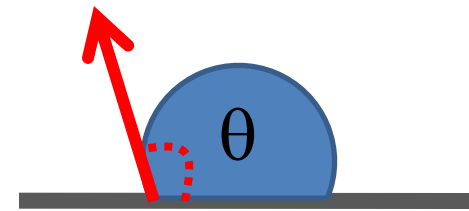
“moja”

$$\gamma_{\text{agua}} = 7,25 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

- $\theta > 90$



MENISCO CONVEXO

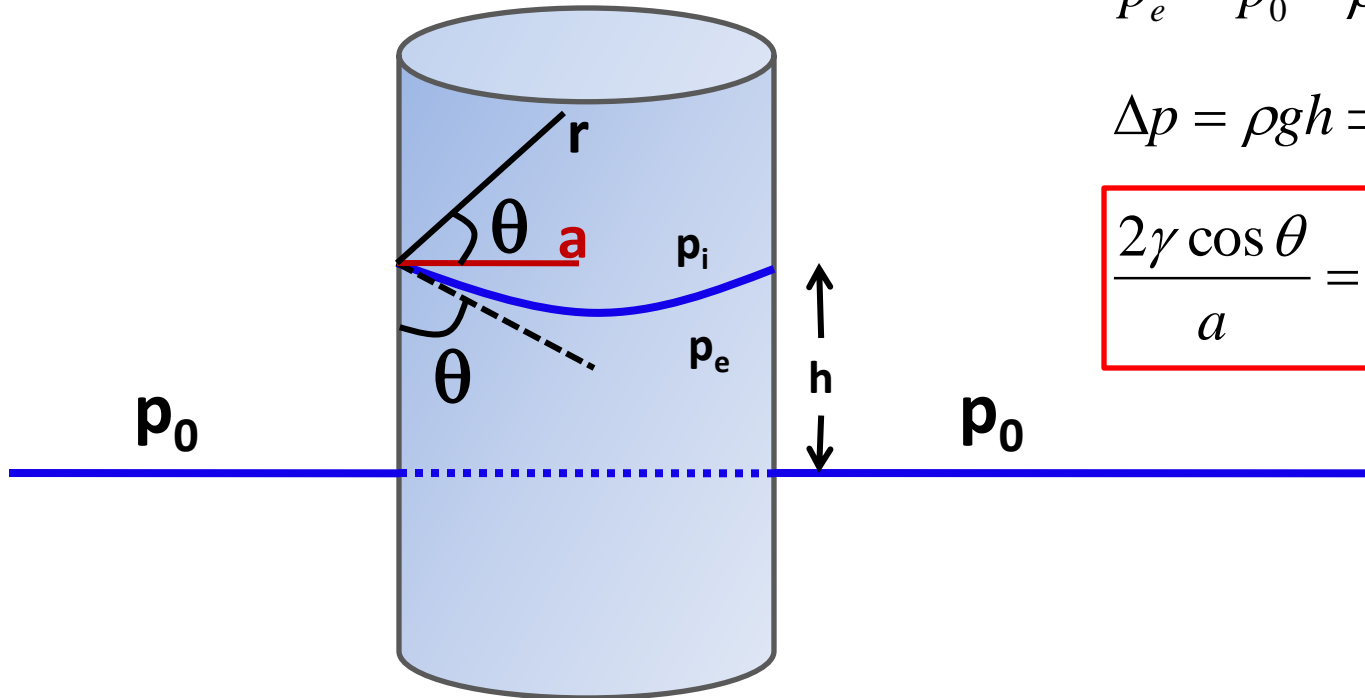


“no moja”

$$\gamma_{\text{Hg}} = 42,6 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

# Tensión superficial de un fluido

- La capilaridad



$$p_i = p_0$$

$$p_e = p_0 - \rho gh$$

$$\Delta p = \rho gh \Rightarrow \frac{2\gamma}{r} = \rho gh$$

$$\frac{2\gamma \cos \theta}{a} = \rho gh$$



# Ejemplo

- Capilaridad de la savia en las plantas. Calculemos cuánto asciende la savia por capilaridad en los tubos del xilema ( $\phi = 40 \mu\text{m}$ ) si tenemos en cuenta que la savia es una disolución de glucosa muy diluida ( $\rho = 1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ). El ángulo de contacto es aproximadamente  $0^\circ$  y  $\gamma = 7,6 \cdot 10^{-2} \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ .
  - SOLUCIÓN:  $h = 0,78 \text{ m}$