



**HIDRODINAMICA**  
(DINÁMICA DE LOS FLUÍDOS EN GENERAL)

**HEMODINAMICA**  
(DINÁMICA DE LA SANGRE)

*Bromat. Ivana Grigor*  
*2015*

# CONCEPTOS IMPORTANTES

- **FLUIDO:**

Cuerpo que tiene la propiedad de fluir. Puede ser LIQUIDO o GASEOSO

- **CLASIFICACIÓN DE FLUIDOS**

- **IDEAL:**

Fluido imaginario que no presenta fuerzas de rozamiento internas que se opongan a su desplazamiento.

- **REAL:**

Fluido que ofrece resistencia al desplazamiento, es decir tiene viscosidad

# CARACTERISTICAS que cumple el Fluido IDEAL

- **FLUIDO NO VISCOSO:**

Se desprecia la fricción interna entre las distintas partes del fluido (NO "SE PEGA" A LAS PAREDES, NO SE FRENA)

- **FLUIDO INCOMPRESIBLE:**

La densidad del fluido permanece constante con el tiempo (FLUIDO LIQUIDO)

- **FLUJO ESTACIONARIO:**

La velocidad de un punto del fluido es constante con el tiempo

- **FLUJO IRROTACIONAL (LAMINAR)**

No presenta torbellinos (CIRCULA DE FORMA UNIFORME)

# CARACTERISTICAS que cumple el Fluido REAL

## ■ VISCOSIDAD:

Medida de la **RESISTENCIA** que presenta un fluido al desplazamiento, debido a rozamiento interno.

Se expresa cuantitativamente mediante el **coeficiente de viscosidad ( $\eta$ )**

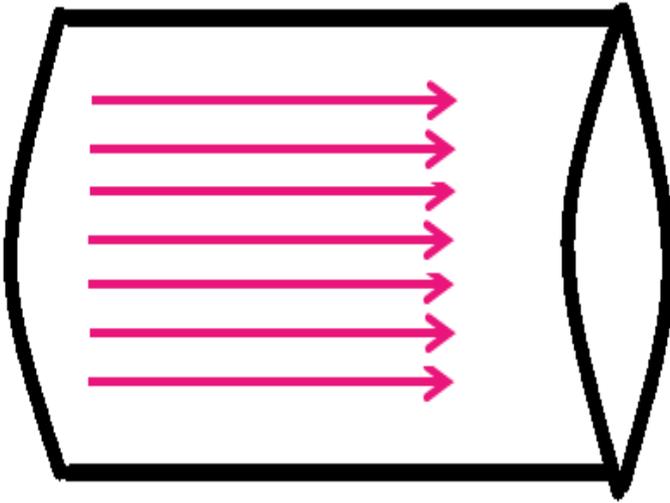
Unidades:

$$\text{CGS: } \frac{\text{dina} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} = \text{Poise}$$

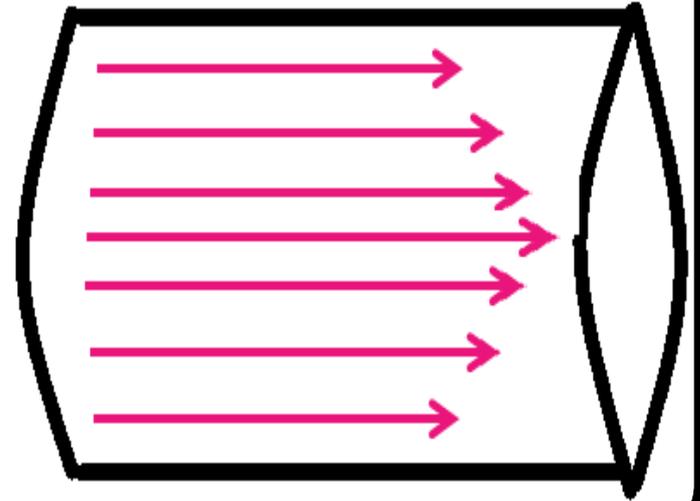
$$\text{SI: } \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \cdot \text{s}$$

Equivalencia: 1 Pa.s = 10 Poise

# Perfil de los fluidos



Fluido ideal



Fluido real

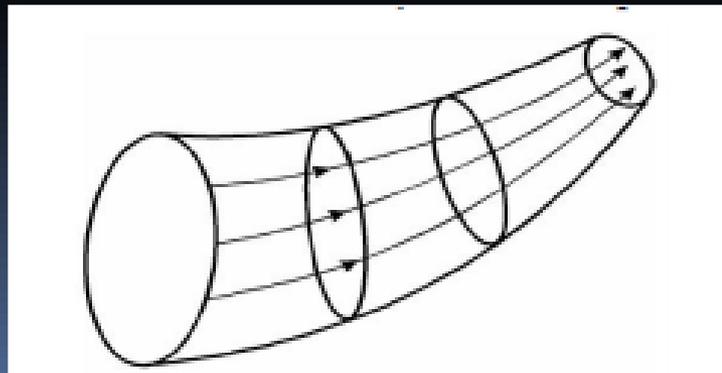
# ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE LA HIDRODINAMICA

## 1. LINEAS DE CORRIENTE:

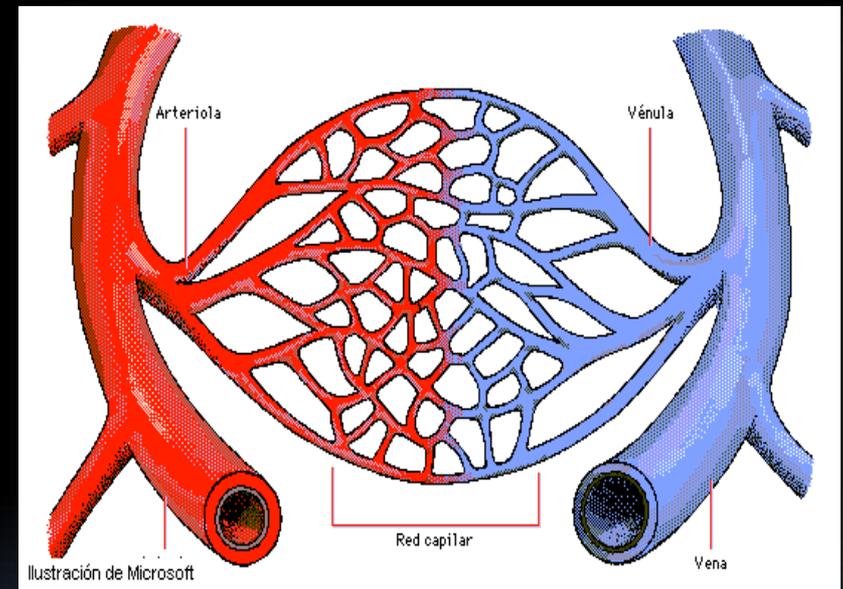
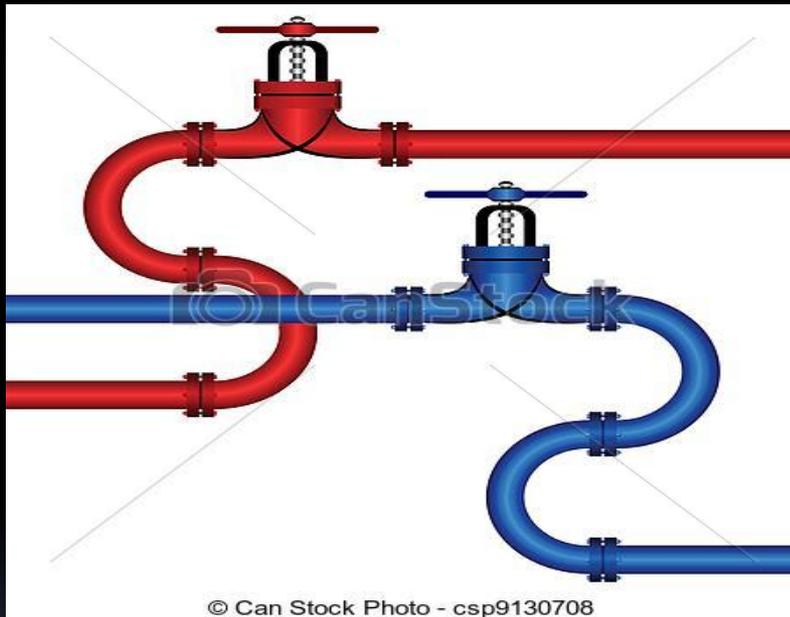
Trayectoria que sigue una partícula de un fluido en movimiento

## 2. VENA LÍQUIDA

La superficie formada por el conjunto de líneas de corriente que pasan por una sección.



# VEAMOS UNA APROXIMACIÓN AL SISTEMA CIRCULATORIO



**FLUIDOS IDEALES**  
Circulando a través de  
**TUBOS RIGIDOS**

**FLUIDOS REALES (SANGRE)**  
Circulando a través de **TUBOS**  
**ELASTICOS**

De **HIDRODINÁMICA** utilizaremos **TRES** ecuaciones importantes:

- **ECUACIÓN DE CONTINUIDAD**
- **ECUACIÓN DE BERNOULLI**
- **LEY DE POUSEUILLE**

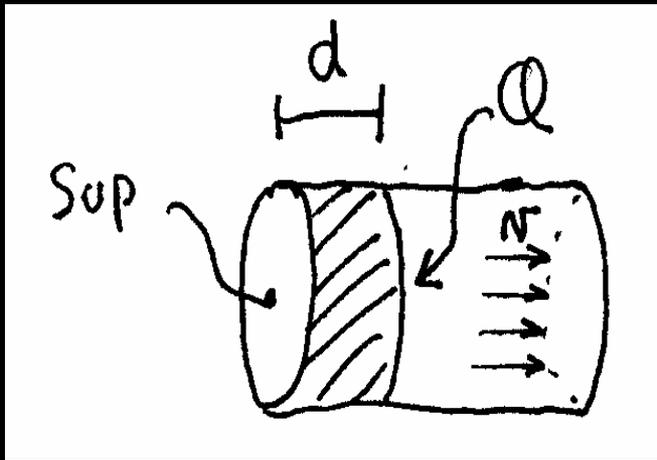
# CAUDAL (Q)

Cantidad de líquido que circula en un cierto tiempo. Se mide en  $m^3/s$

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}}$$

← CAUDAL

# Otra Fórmula para expresar CAUDAL



Al volumen que circula lo puedo expresar como

$$\text{Volumen} = S \times d$$

$$Q = \frac{\text{Sup} \times v}{\Delta t}$$

← Velocidad

$$Q = \frac{\text{Vol}}{\Delta t}$$

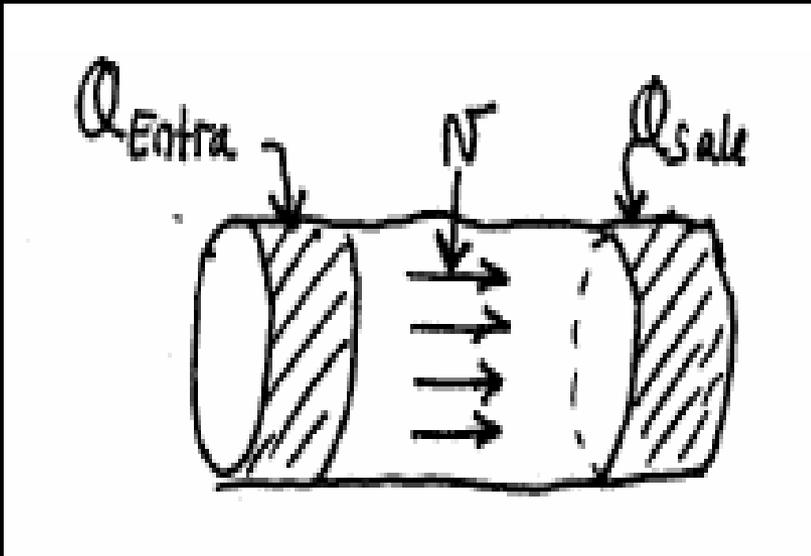
$$\Rightarrow Q = S \times v$$

← OTRA MANERA DE CALCULAR EL CAUDAL

CAUDAL      SUP. del TUBO      VELOCIDAD DEL LIQUIDO

# ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

Por una tubería están entrando 5 litros por minuto. Pregunta: ¿qué cantidad de líquido está saliendo ?



$$Q_{\text{Entra}} = Q_{\text{Sale}}$$

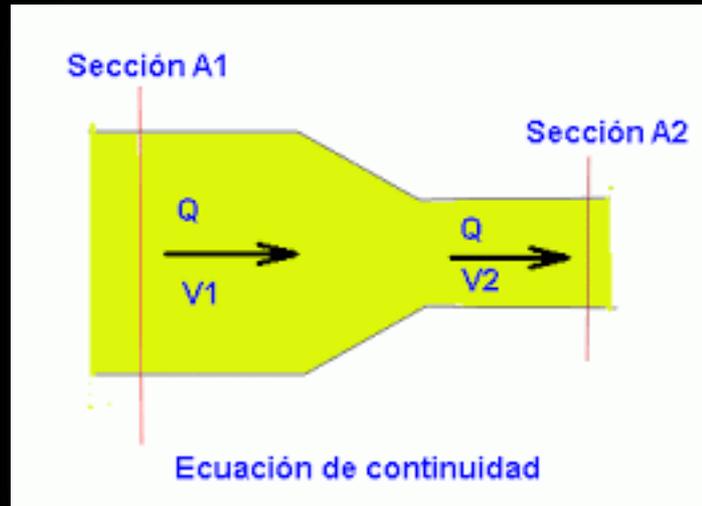
$$N_e \cdot S_e = N_s \cdot S_s$$

**$V_e$  y  $V_s$** : velocidad del líquido a la entrada y salida

**$S_e$  y  $S_s$** : la sección del tubo a la entrada y la salida.

Ambas magnitudes presentan **PROPORCIONALIDAD INVERSA**

*¿Que sucedería si el tubo presenta variaciones en su diámetro?*

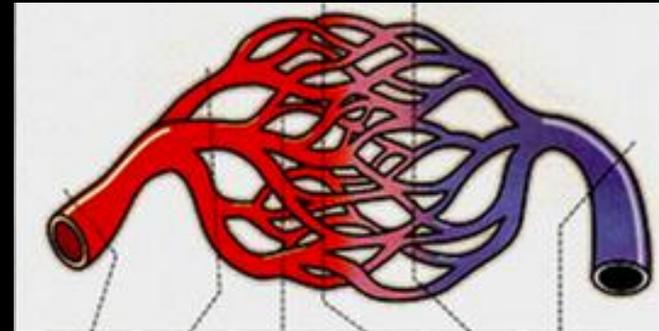
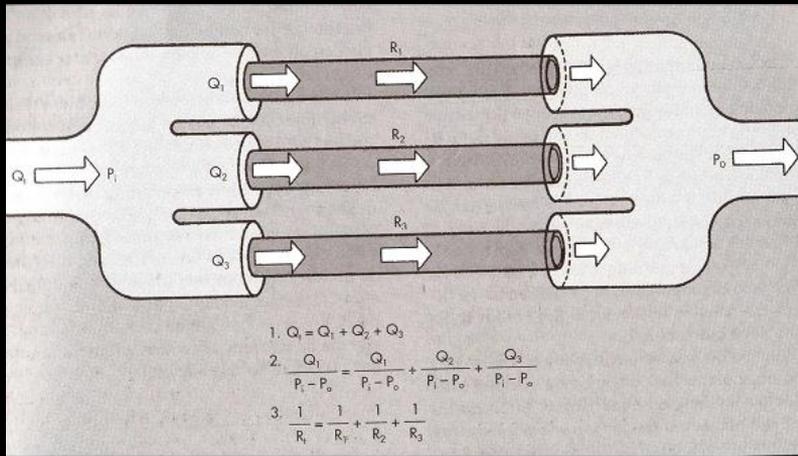


$$Q_e = Q_s$$
$$S_e \cdot V_e = S_s \cdot V_s$$

The equation  $S_s \cdot V_s$  has a green arrow pointing down under  $S_s$  and a pink arrow pointing up under  $V_s$ .

*¿Qué VELOCIDAD se supone que habrá en el SEGUNDO tramo de la tubería, si DISMINUYE en éste, el DIÁMETRO a la mitad????*

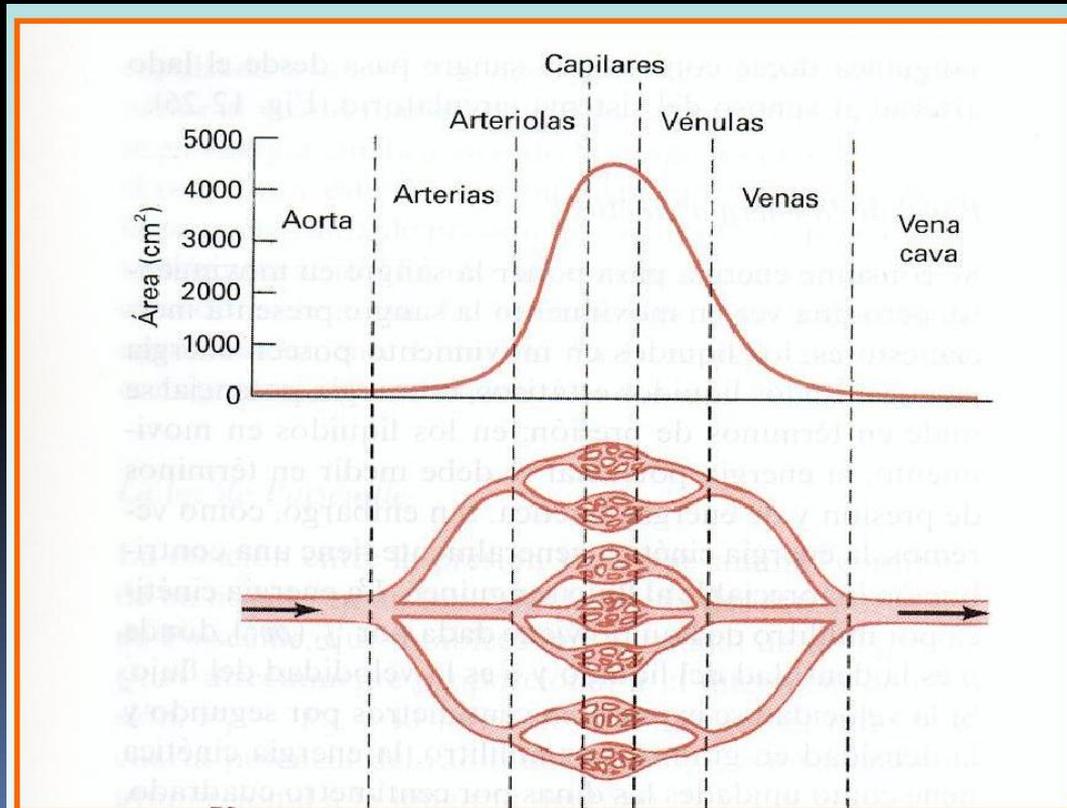
# Ley de continuidad aplicada en la microcirculación



- Al pasar la sangre desde una arteria a una arteriola y a un capilar....¿Cómo debería ser la velocidad de la sangre a nivel de los capilares, para permitir el intercambio de nutrientes?

# Ley de continuidad en Hemodinamica

Se cumple **UNICAMENTE** teniendo en cuenta como área total la **suma del área de sección transversal** de los capilares la cual será mayor que el área de sección del tronco original (arterias)



Si el área de la aorta es de 7 cm<sup>2</sup>

El área de todos los capilares es superior a los 4000 cm<sup>2</sup>

Aunque el radio de un capilar sea de 8 mm y su área de  $2 \cdot 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>

# ECUACION DE BERNOULLI-

## Punto de vista energético



### Restricciones:

- Fluido ideal
- Flujo estacionario
- Circula por vasos rígidos de diferentes calibres y a diferentes posiciones con respecto a un nivel de referencia

Bernoulli postuló que la **Energía Mecánica Total** se mantenía constante durante el desplazamiento.

$$E_{p_L} + E_c + E_g = \text{constante}$$

1)  $E_{p_L}: P \cdot V$

2)  $E_c: \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

3)  $E_g: m \cdot g \cdot h$

- A cada término dividámoslo por la unidad de VOLUMEN y obtendremos



# EXPRESIÓN GRAL DE LA ECUACIÓN DE BERNOULLI

$$\square \frac{P.V}{V} + \frac{1/2 m . v^2}{V} + \frac{m.g.h}{V} = \text{Constante}$$

como  $m/V$  es  $\delta$

$$P_L + 1/2 . \delta . v^2 + \delta . g . h = \text{CONSTANTE}$$

$P$  lateral

$P_L$

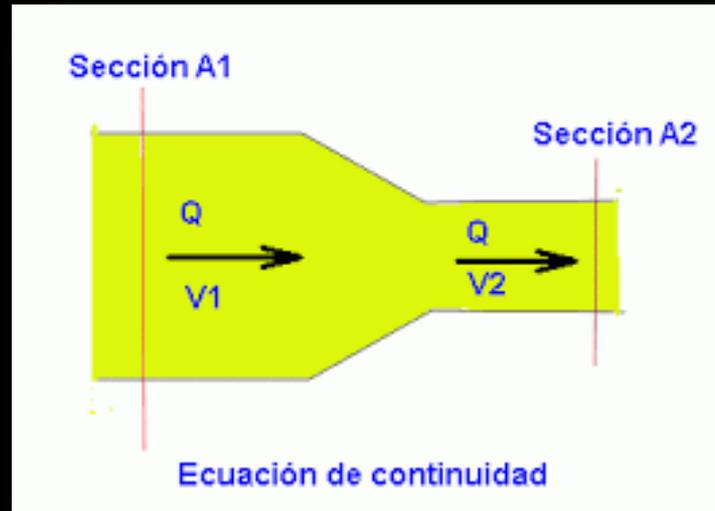
$P$  cinemática

$P_c$

$P$  gravitatoria

$P_g$

# Analicemos desde el PUNTO DE VISTA ENERGÉTICO el ejemplo anterior



$$E \text{ total } 1 = E \text{ total } 2$$

$$E_p 1 + E_g 1 + E_c 1 = E_p 2 + E_g 2 + E_c 2$$

$$P_1 + P_{g1} + P_{c1} = P_2 + P_{g2} + P_{c2}$$

No es difícil advertir que si la SUMA de los mismos debe preservarse CONSTANTE, cuando aumenta uno de sus miembros la suma de los otros deben disminuir en la misma magnitud

# Analizamos desde el PUNTO DE VISTA ENERGÉTICO el ejemplo anterior

- Si el tubo por donde circula un fluido ideal se **estrechara su diámetro a la mitad**. Analice y responda:

- Según la ley de continuidad cual es la magnitud que depende del diámetro? Como varia la misma?

**LA SUPERFICIE DISMINUYE LA MITAD.**

- Para mantener el caudal constante que sucederá con velocidad en ese segundo tramo?

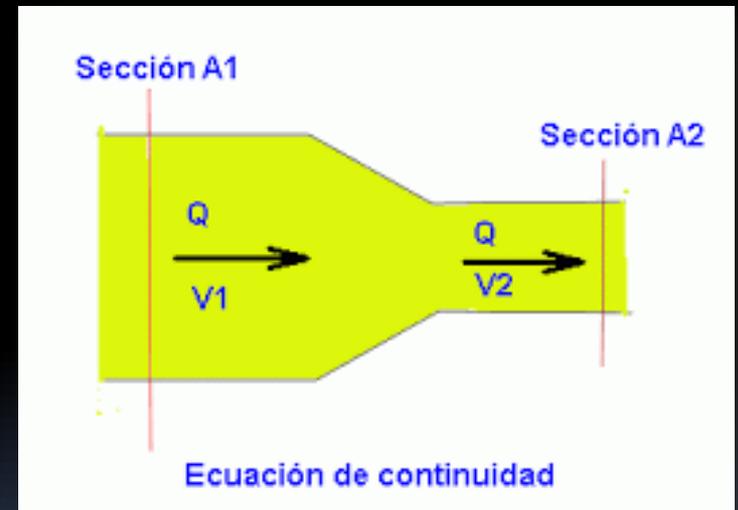
**AUMENTA EL DOBLE**

- Desde el punto de vista energético... que componente de **energía** se verá afectada principalmente?

**ENERGIA CINETICA**

- Y cual presión se verá modificada?

**PRESION CINEMATICA**



Ecuación de continuidad

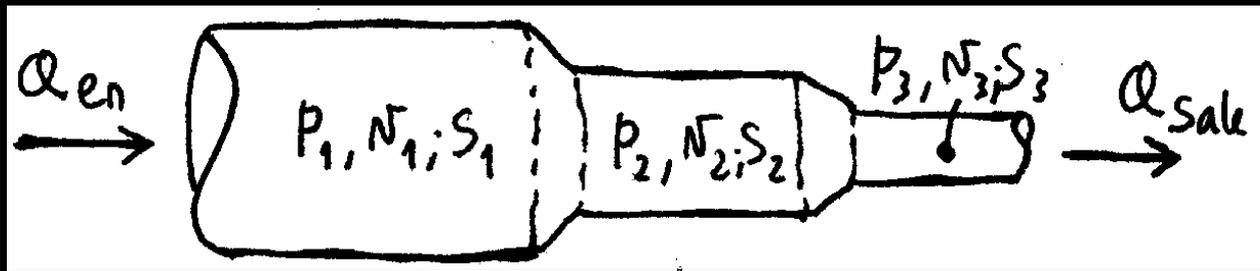
$$S1 \times v1 = S2 \times v2$$

# Expresión aplicada a nuestro ejemplo

$$P_e + \frac{1}{2} \rho v_e^2 + \cancel{\rho g h_e} = P_s + \frac{1}{2} \rho v_s^2 + \cancel{\rho g h_s}$$

- Para el caso de tubos horizontales ésta expresión queda reducida a :

$$P_e + \frac{1}{2} \rho v_e^2 = P_s + \frac{1}{2} \rho v_s^2$$



$$P_e + \frac{1}{2} \rho v_e^2 + \rho g h_e = P_s + \frac{1}{2} \rho v_s^2 + \rho g h_s$$

TRAMO 1			TRAMO 2	
AREA 1	>		AREA 2	
VELOCIDAD 1	<		VELOCIDAD 2	
P <sub>CINETICA</sub> 1	<		P <sub>CINETICA</sub> 2	
P <sub>LATERAL</sub> 1	>		P <sub>LATERAL</sub> 2	

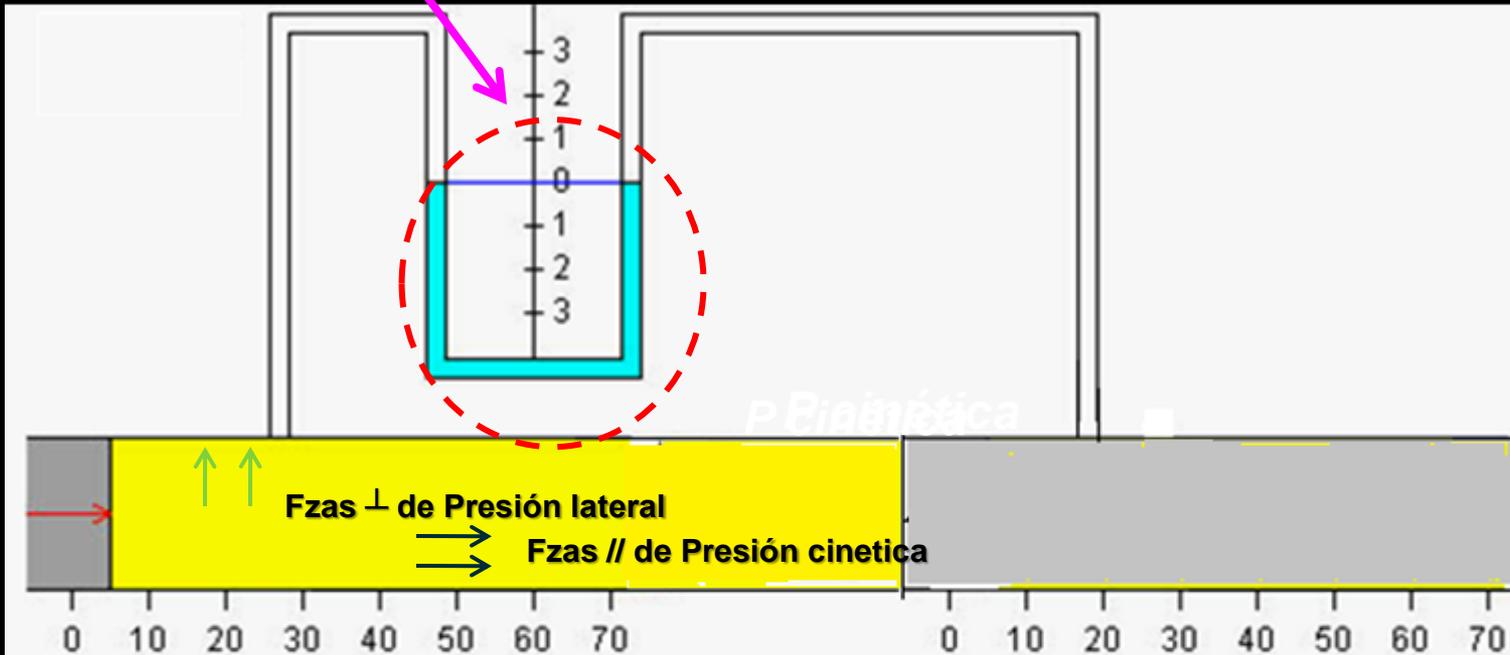
} LEY DE CONTINUIDAD

} ECUACIÓN DE BERNOULLI

## MANÓMETRO:

Tubo en forma de U que permite medir la  $\Delta PL$ , por la alturas que alcanza la columna líquida. En unidades de mm de Hg

## TUBO DE VENTURI



Dato: radio tubo derecho: 5 cm

Balance energético

Variación de E. cinética (J):

Variación de E. potencial (J):

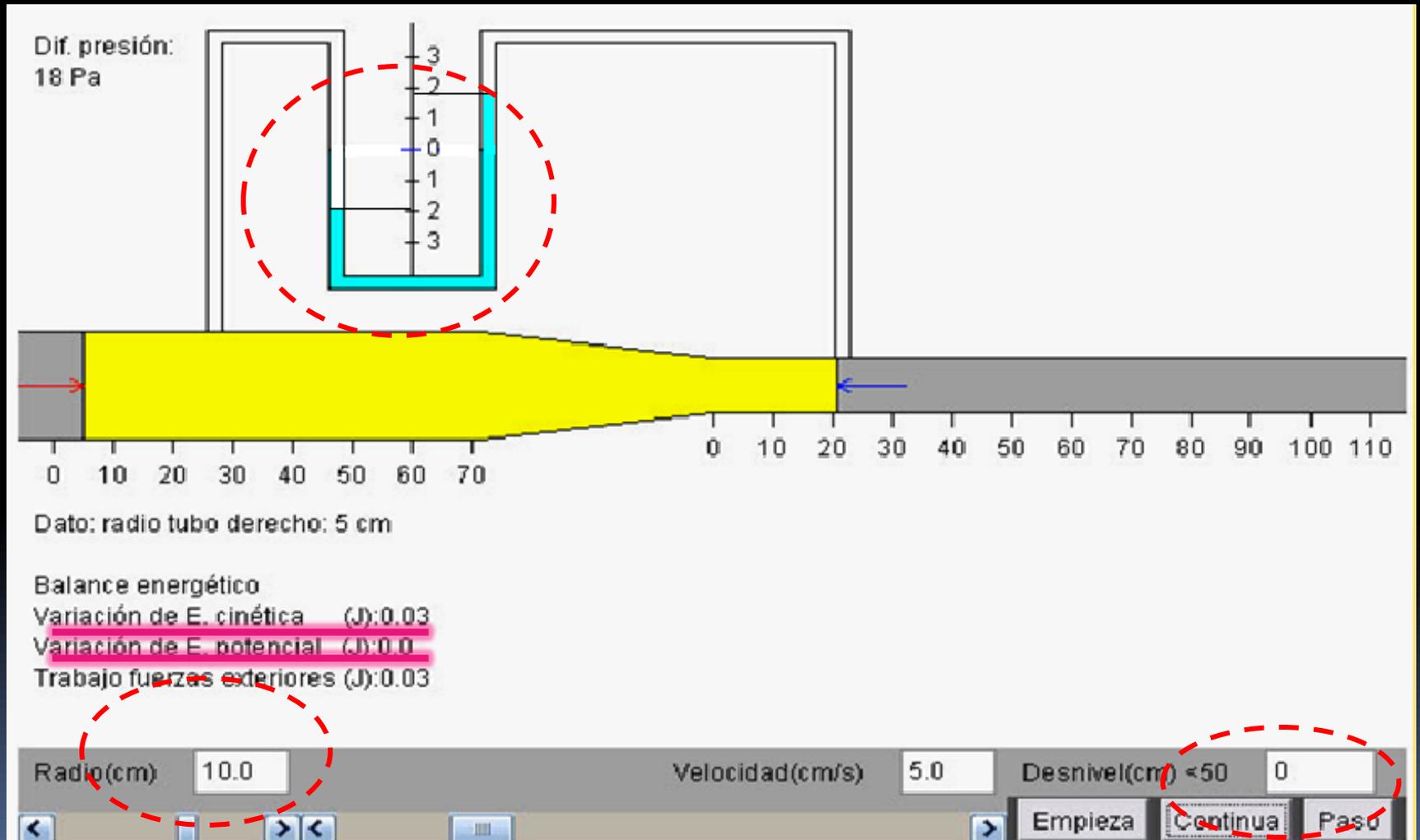
Trabajo fuerzas exteriores (J):

Radio(cm) 10.0

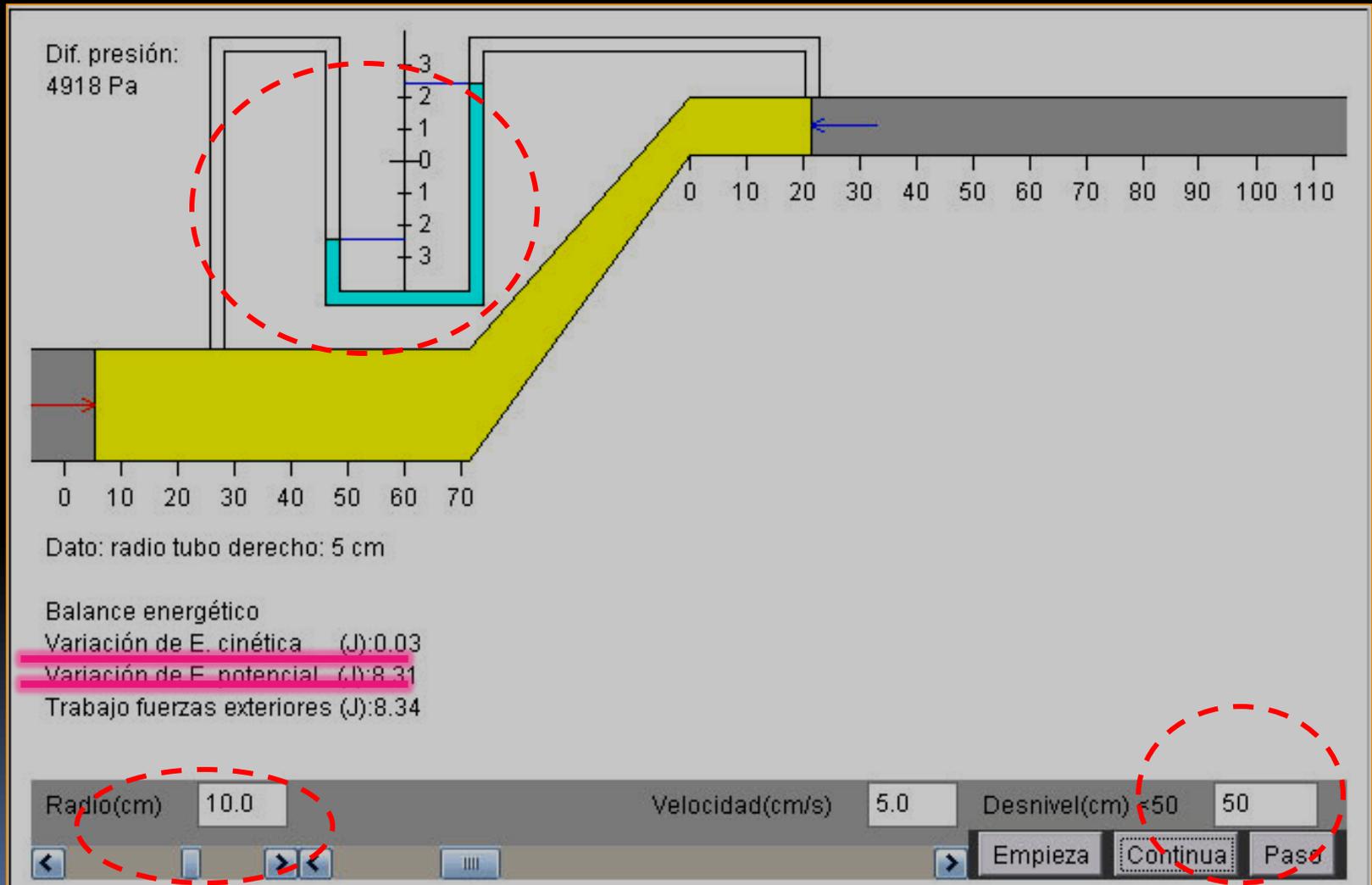
Velocidad(cm/s) 5.0

Desnivel(cm) <50 0

# Tubos de Venturi horizontales y con un estrechamiento



# Tubos de Venturi con desnivel y estrechamiento





**ES SUFICIENTE POR HOY... .**  
**SEGUIMOS LA PRÓXIMA CLASE!**

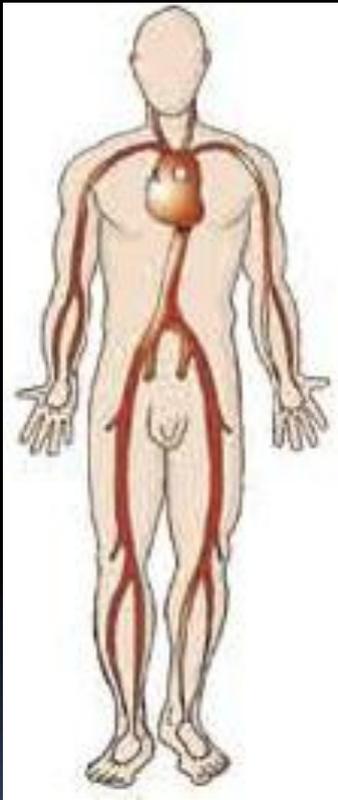


[phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/fluid-pressure-and-flow](https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/fluid-pressure-and-flow)

# APLICACIONES AL SISTEMA CARDIOVASCULAR

■ Pero debido a que:

- los vasos sanguíneos **no son tubos rígidos**
- la sangre **no es un líquido ideal**, sino un sistema formado por 2 fases (líquido y células)
- que existe **perdida por fricción**



El COMPORTAMIENTO de la circulación se desvía en cierto grado de lo manifestado anteriormente.

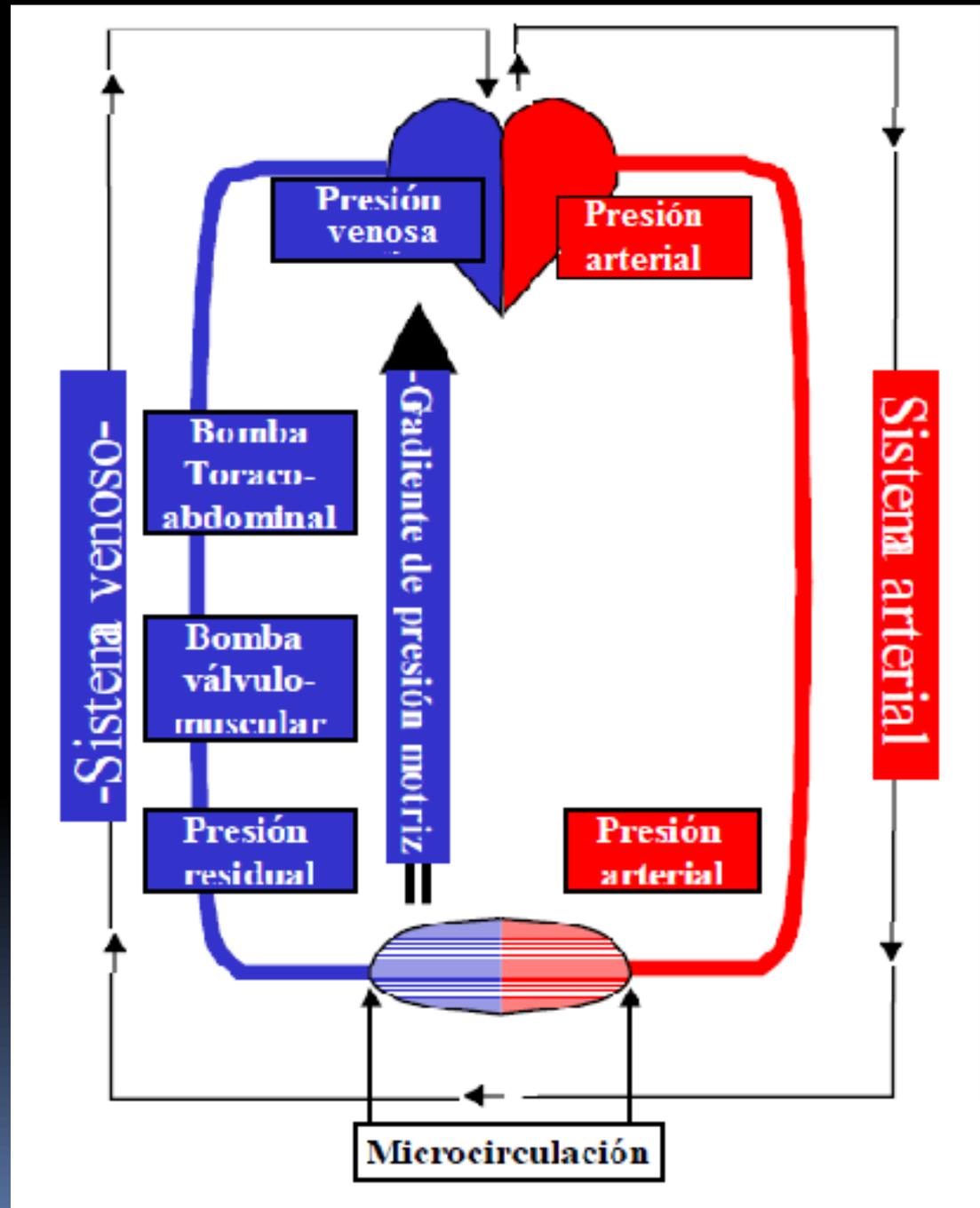
$$E_{\text{total}} = \text{Energía de Presión} + \text{Energía cinética} + \text{Energía potencial gravitatoria} + \text{calor}^2$$

- Según Bernoulli...

$E_{total}$  a la salida del corazón =  $E_{total}$  a la entrada al corazón

$P_{total}$  salida =  $P_{total}$  a la entrada

- Será así????



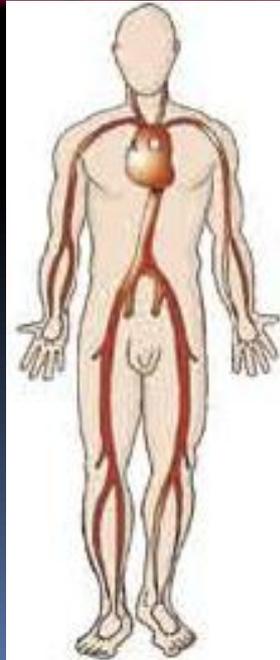
# NO!

## Veamos por qué...

- Si comparáramos el **SECTOR ARTERIAL** con el **SECTOR VENOSO** experimentalmente se observaría que el teorema de Bernoulli **NO** se cumple:

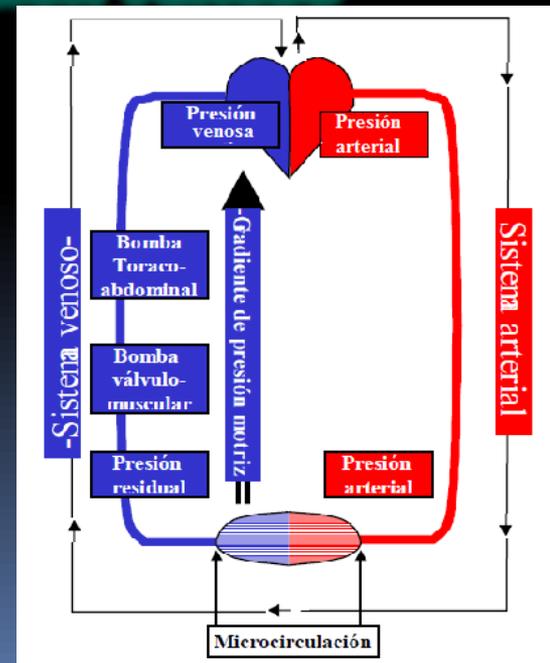
$$Epl_a + Eg_a + Ec_a >$$

Sección arterial



$$Epl_v + Eg_v + Ec_v$$

Sección venoso



# APLICACIONES DEL TEOREMA DE BERNOULLI AL ARBOL VASCULAR. LEY DE POISEUILLE

*¿Cual es el término que determina esta desigualdad?*

① Si analizamos a un individuo en pie

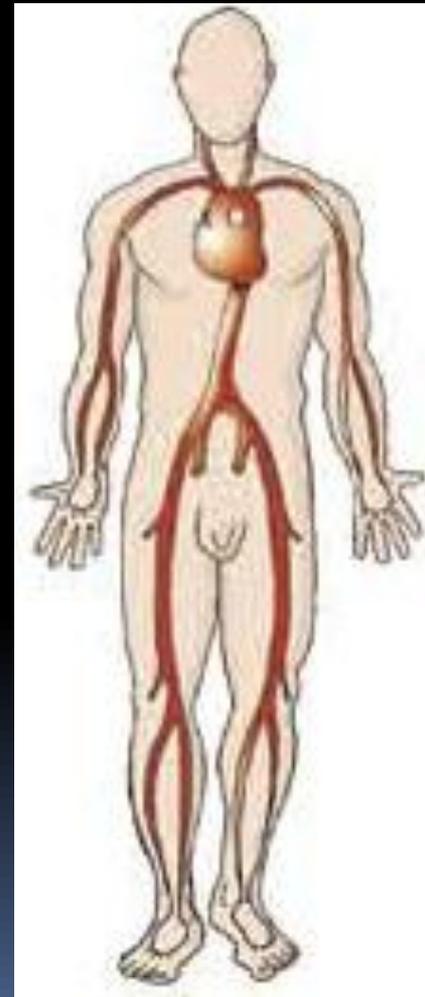
$$h_a = h_v$$

$$Eg_a = Eg_v$$

② Como el diámetro de las venas cavas es aprox. el mismo que el de la aorta

$$V_a = V_v$$

$$Ec_a = Ec_v$$

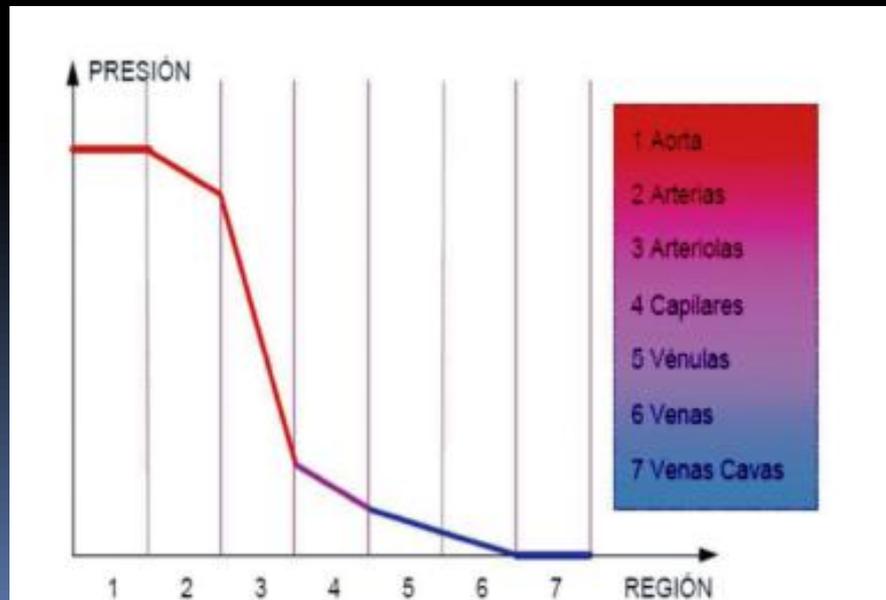


h  
(altura)

# ¿Cual es el término que determina esta desigualdad?

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad E_{pl_a} + \cancel{E_{g_a}} + \cancel{E_{c_a}} &> E_{pl_v} + \cancel{E_{g_v}} + \cancel{E_{c_v}} \\ E_{pl_a} &> E_{pl_v} \\ p_a &> p_v \end{aligned} \quad \longrightarrow \quad Pd = p_a - p_v$$

(Presión Arterio-venosa)



# APLICACIONES DEL TEOREMA DE BERNOULLI AL ARBOL VASCULAR → LEY DE POUSEUILLE

- $p_a > p_v$        $Pd = p_a - p_v$
- La sangre al ser un **LÍQUIDO REAL** que circula a través de tubos no rígidos, presenta una *pérdida de energía por frotamiento*, experimentalmente podemos comprobar que la Pd ( $\Delta P$ ) depende de 4 factores:
  1. Caudal (Q)
  2. Longitud (L)
  3. Viscosidad ( $\eta$ )
  4. Radio ( r )

$$\Delta P = \frac{L \cdot Q \cdot \eta}{r}$$

# LEY DE POUSEUILLE O LEY DE CAUDAL

- $\Delta P = \frac{Q \cdot L \cdot (\eta)}{r}$

de allí despejamos Q, le agregamos algunas constantes y obtenemos:

$$Q = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot L \cdot \eta}$$

**R (Resistencia)**

- Una forma abreviada de expresarla es:

$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$

En fisiología al Q se lo denomina GASTO CARDIACO, el  $\Delta P$  se le denomina diferencia arterio venosa y a R la resistencia periférica total, esta se mide en URP (mmde Hg / cm<sup>3</sup>)

# LEY DE POUSEUILLE

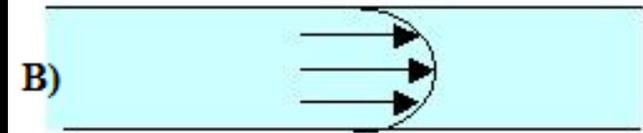
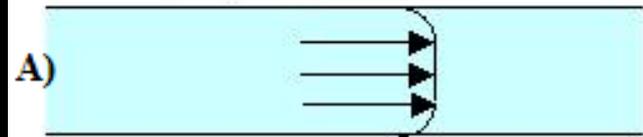
$$Q = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot L \cdot \eta}$$

▪ *Solo es valida:*

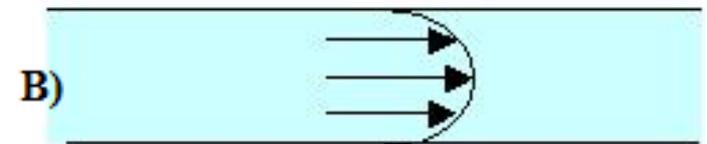
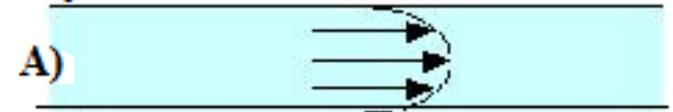
1. Fluidos **REALES**
2. Fluidos **INCOMPRESIBLES**
3. Tubos **circulares**

El caudal Q es proporcional a la caída de presión ( $\Delta P$ ) y a la CUARTA potencia del radio(r) e inversamente proporcional a la viscosidad ( $\eta$ ) y la longitud (L)

Cuál de los dos fluidos presenta mayor viscosidad? cual ofrece mayor RESISTENCIA?



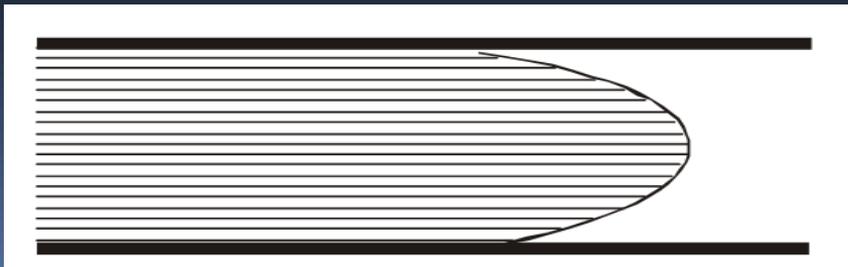
Cuál de los dos fluidos presenta mayor RESISTENCIA? Cual circulará con mayor CAUDAL?



# Tipos de Flujos

## ■ FLUJO LAMINAR

- Líquido fluye en laminas
- En CAPAS PARALELAS
- Las velocidades de cada capa son diferentes, la máxima velocidad se encuentra en el seno del líquido
- SIN RUIDO
- *Frente de avance convexo que semeja un proyectil*



## ➤ FLUJO TURBULENTO

- Líquido fluye de FORMA DESORGANIZADA
- No se puede determinar la velocidad con que circulan las partículas, porque siguen diversas direcciones y sentido.
- Se debe a una modificación en la relación entre la velocidad, el calibre, la densidad y la viscosidad del líquido.
- CON RUIDO
- *Aparece una rotura del frente de avance*



# ¿Qué factores físicos pueden hacer que un líquido cambie su Régimen?

- Podemos “predecir” si un líquido fluirá bajo un régimen determinado, calculando el número adimensional denominado **NÚMERO DE REYNOLDS**.

$$N_R = \frac{\delta \cdot r \cdot v}{\eta}$$

Si  $N_R < 1000$  régimen laminar

Si  $N_R > 2000$  régimen turbulento

Si  $1000 > N_R > 2000$  en transición

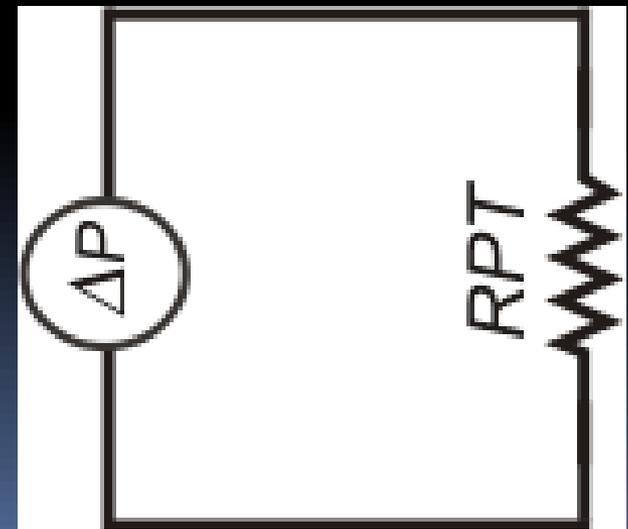
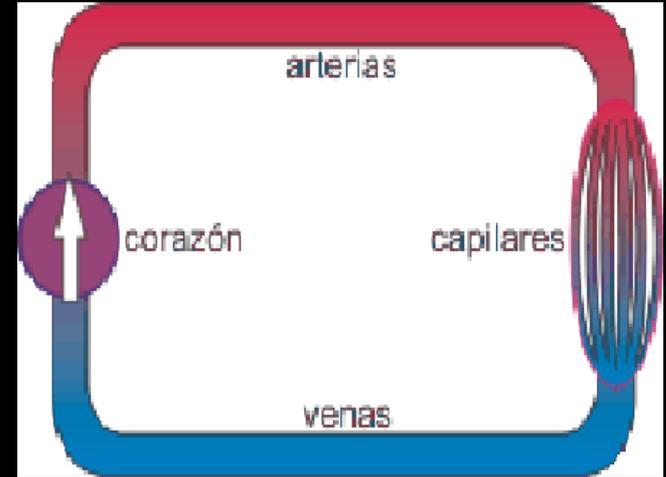
# ELECTRODINÁMICA

- Debemos SIMPLIFICAR el sistema circulatorio y construir un modelo sencillo.
- En donde existe una bomba que crea una diferencia de presión  $P_1 - P_2$ , que genera un caudal  $Q$  CONSTANTE a través de la resistencia  $R$ .
- Por lo que podremos aplicar la ley de Ohm:

$$I = \frac{\Delta V}{R}$$



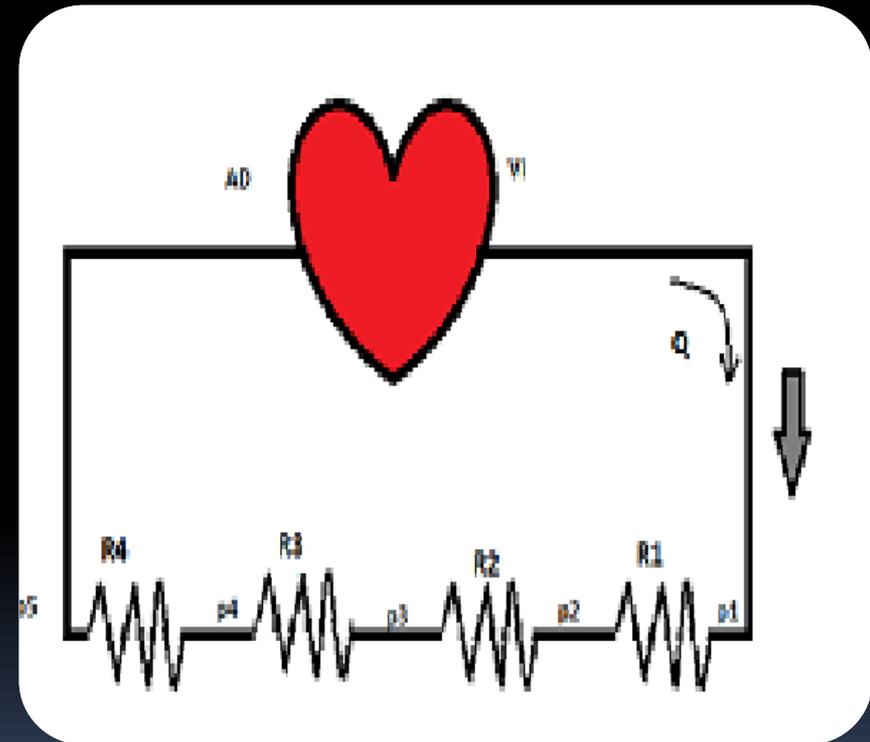
$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$



# Las R pueden estar en SERIE o en PARALELO

## EN SERIE

- Es la que ofrece TODO el sistema circulatorio, los distintos segmentos vasculares.
- $R_{total} = R_1 + R_2 + R_3...$

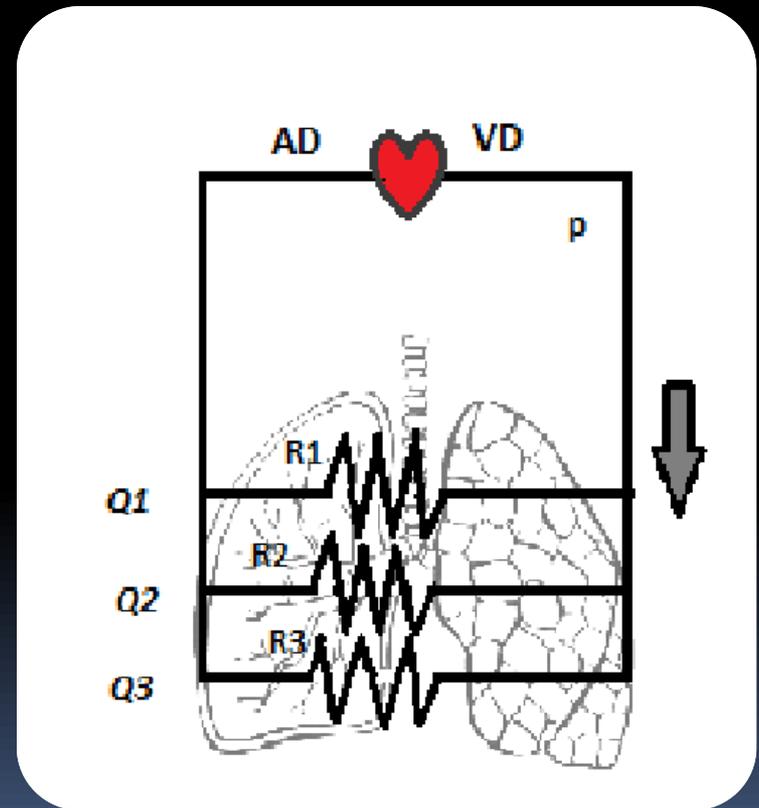


# Las R pueden estar en SERIE o en PARALELO

## EN PARALELO:

- Es la Resistencia que ofrece **un solo** órgano
- La resistencia total ( $R_{total}$ ) de un sistema en paralelo se calcula como:

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$





**FIN**