



HIDRODINAMICA
(DINÁMICA DE LOS FLUÍDOS EN GENERAL)

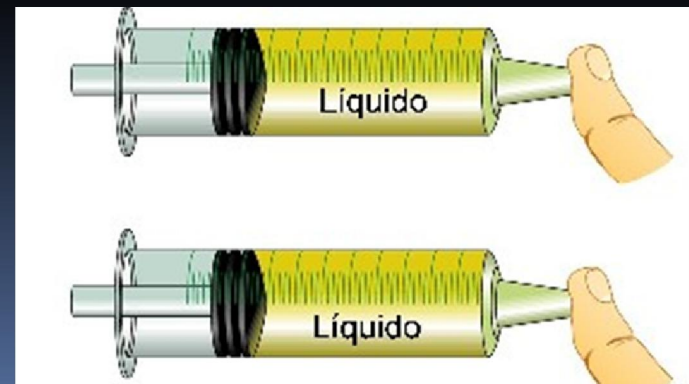
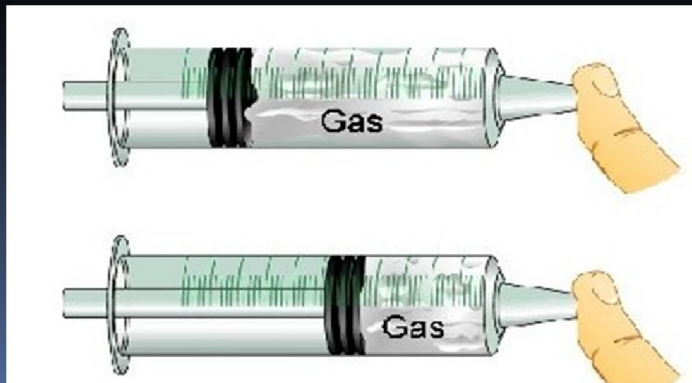
HEMODINAMICA
(DINÁMICA DE LA SANGRE)

Bromat. Ivana Grigor
2015

Conceptos de HIDROSTATICA

FLUIDO

- Cualquier sustancia líquida o gaseosa que puede fluir.
- La diferencia entre estos fluidos, es que los gases pueden comprimirse, mientras que los líquidos son incompresibles.



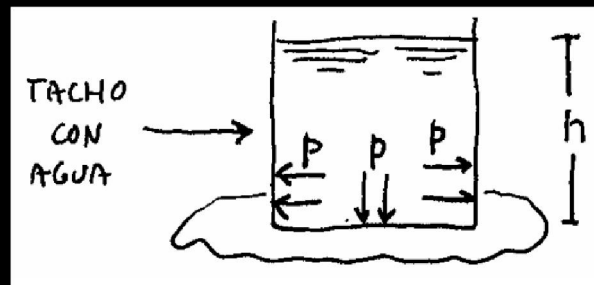
PRESIÓN

- El valor absoluto de la **Fuerza** que realiza un fluido sobre un cuerpo, por unidad de **superficie**. Si el fluido está en reposo, esa fuerza siempre es **perpendicular** a la superficie. En SI se mide N/m^2 [Pa]

A hand-drawn diagram illustrating the formula for pressure. A central box contains the equation $P = \frac{F}{S}$. An arrow labeled 'PRESIÓN' points to the 'P' in the numerator. An arrow labeled 'FUERZA' points to the 'F' in the numerator. An arrow labeled 'SUPERFICIE' points to the 'S' in the denominator.

PRESIÓN HIDROSTÁTICA

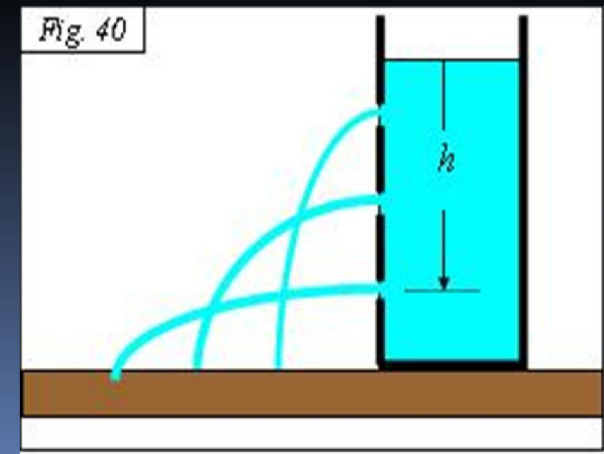
- Un líquido encerrado en un recipiente crea una presión en su seno y ejerce una fuerza hacia las paredes de su contenedor (recipiente).



- Esa presión depende de la densidad del fluido, la gravedad y la profundidad.

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

Diagrama de la ecuación $P_h = \rho \cdot g \cdot h$ con flechas que apuntan a cada término: 'PRESIÓN' apunta a P_h , 'DENSIDAD' apunta a ρ , 'GRAVEDAD' apunta a g , y 'PROFUNDIDAD' apunta a h . A la derecha del diagrama, el texto 'PRESIÓN A UNA PROFUNDIDAD h .' tiene una flecha que apunta hacia la ecuación.



HIDRODINAMICA:

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)

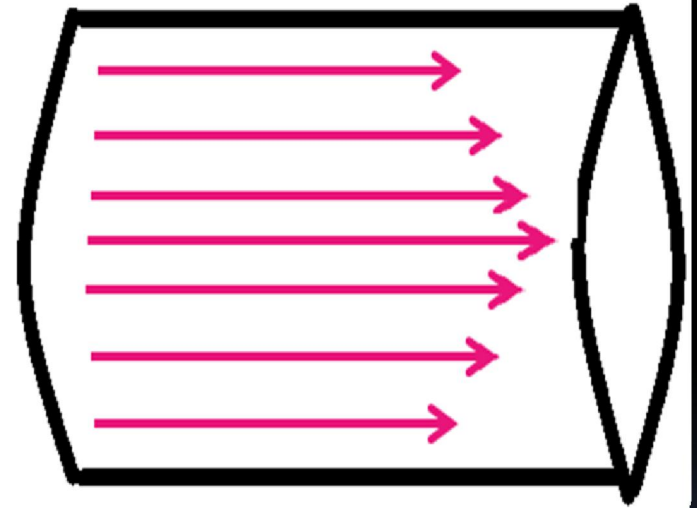
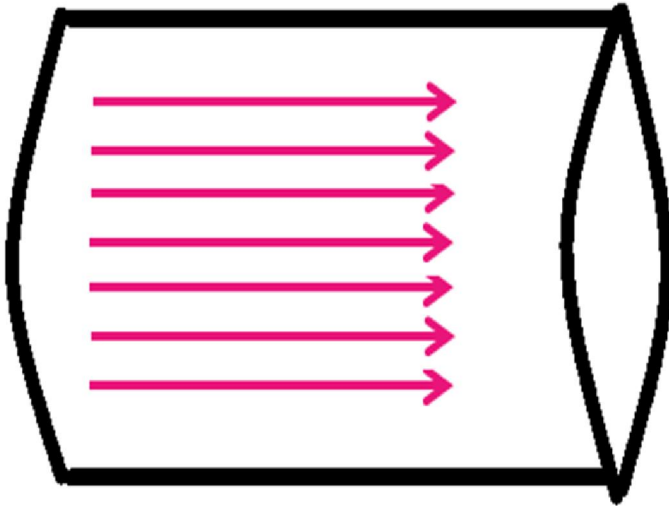
- **FLUJO ESTACIONARIO:**

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

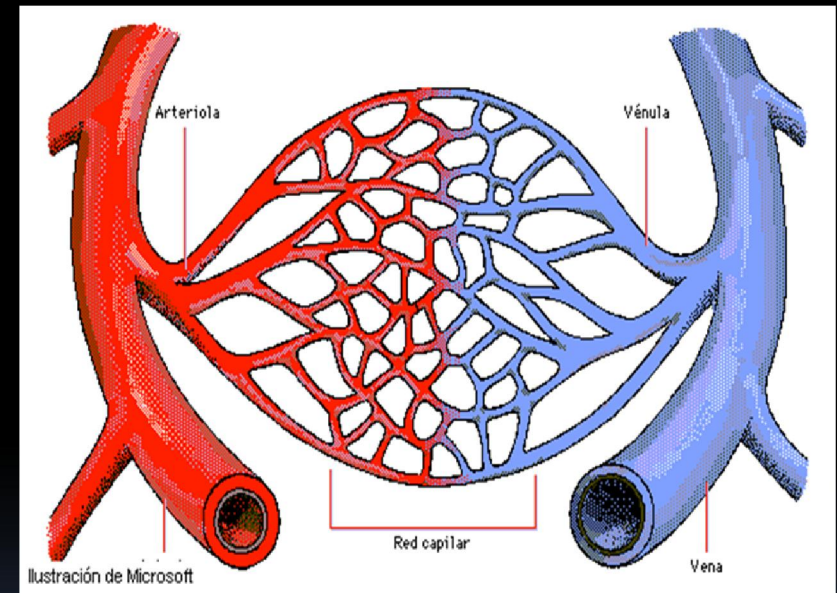
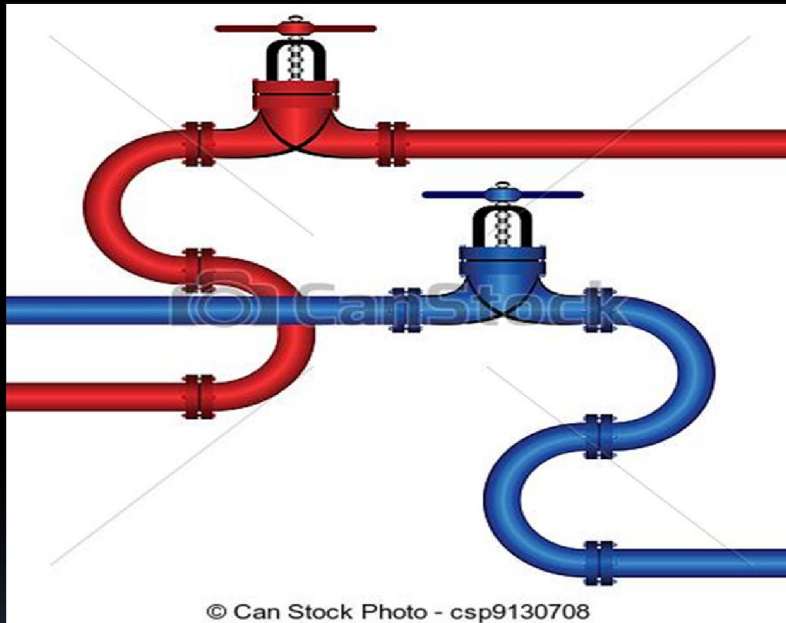
- **FLUJO IRROTACIONAL:**

No presenta torbellinos, es decir, no hay momento angular del fluido respecto de cualquier punto.(CIRCULA DE FORMA UNIFORME)

FLUIDO IDEAL



VEAMOS UNA APROXIMACIÓN AL SISTEMA CIRCULATORIO



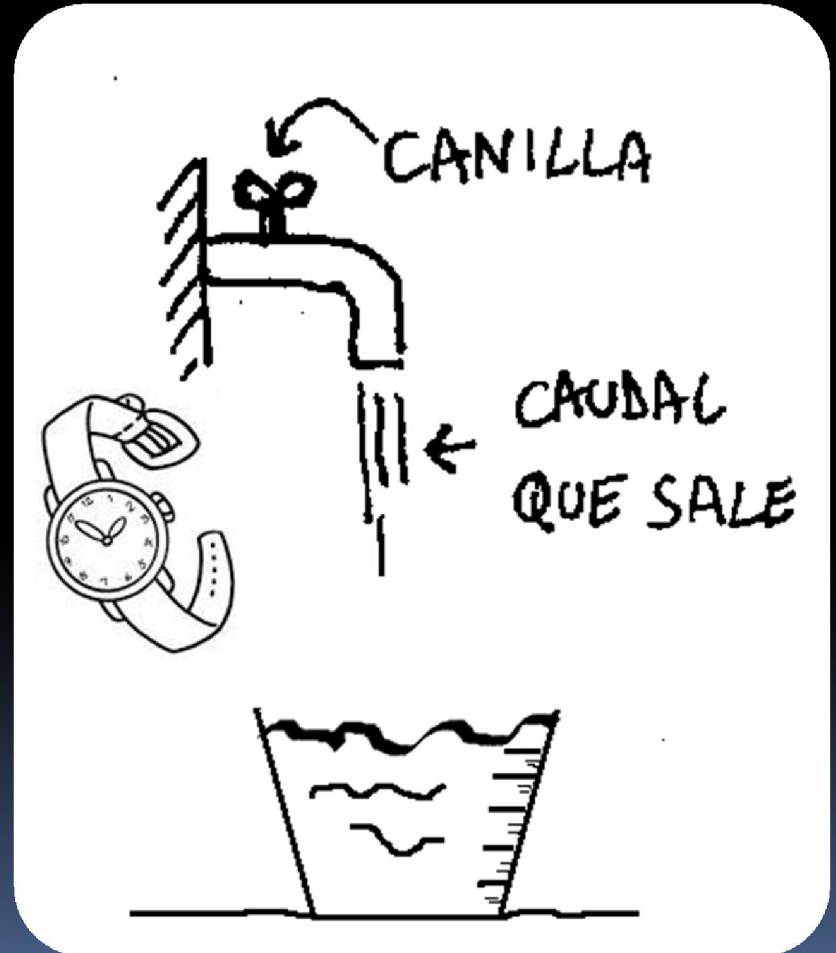
FLUIDOS IDEALES
Circulando a través de
TUBOS RIGIDOS

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

CAUDAL (FLUJO) (Q)

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

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



Relación con la HEMOdinámica:



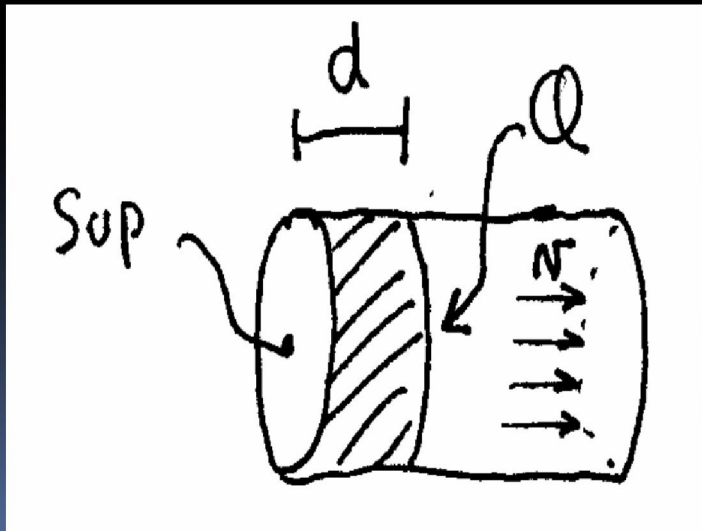
Se define como el volumen de sangre que pasa por minuto por la aorta.

Se mide en la salida del Ventrículo Izquierdo.

En un adulto sano y en reposo es aproximadamente 5 l/ min

Otra Fórmula para expresar CAUDAL

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



EL VOLUMEN del fluido que circula por un tubo puede calcularse como

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

$$Q = \frac{\text{Sup} \times d}{\Delta t} \leftarrow \text{Velocidad}$$

$$\Rightarrow Q = S \times N \leftarrow \text{OTRA MANERA DE CALCULAR EL CAUDAL}$$

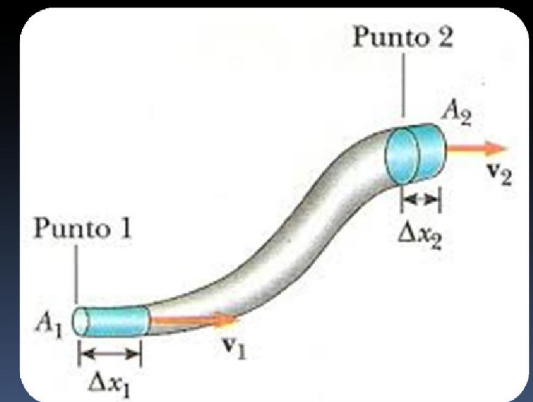
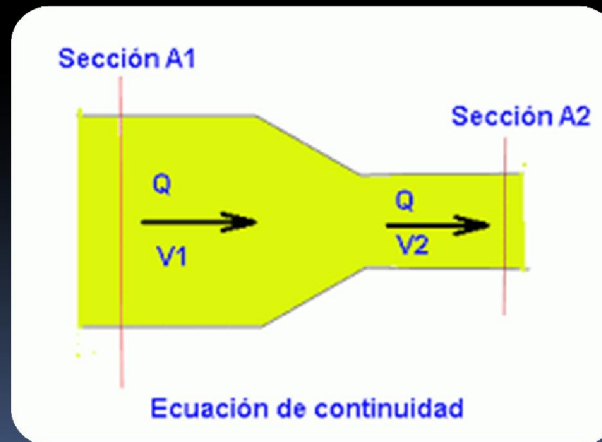
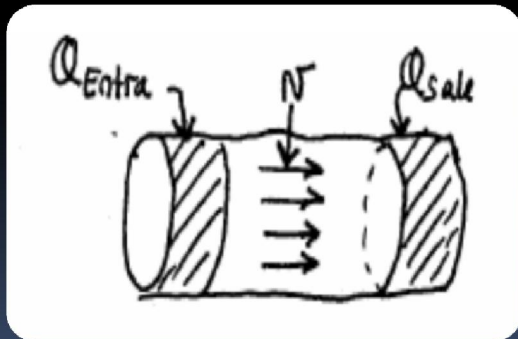
CAUDAL SUP. del TUBO VELOCIDAD DEL LIQUIDO

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

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

ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

- Si por una tubería entra un líquido a un caudal de 5 l/min de un extremo, ¿cuánto sale del otro?
Entrando 5 l/min de un extremo, ¿cuánto sale del otro?
Entrando 5 l/min de un extremo, ¿cuánto sale del otro?
- Pregunta: ¿cuánto líquido está saliendo del otro extremo?
Pregunta: ¿cuánto líquido está saliendo del otro extremo?
Pregunta: ¿cuánto líquido está saliendo del otro extremo?



ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

- *Si por una tubería están entrando 5 l/min de un líquido determinado.*
- *Pregunta: ¿qué cantidad de líquido está saliendo ?*

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

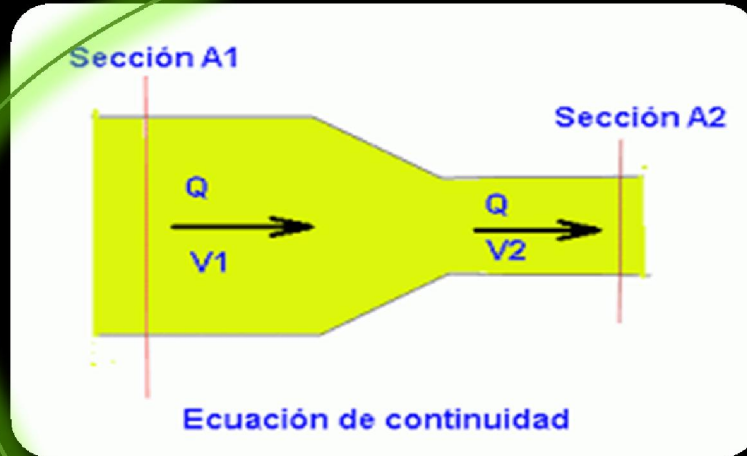
V_e y V_s : VELOCIDAD del líquido a la entrada y salida

S_e y S_s : la sección o AREA del tubo a la entrada y la salida.

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

Ambas magnitudes presentan **PROPORCIONALIDAD INVERSA**

¿Que sucedería si el tubo presenta variaciones en su DIAMETRO?



- SIEMPRE SE CUMPLE QUE TODO LO QUE ENTRA TIENE SALIR

$$Q_e = Q_s$$
$$S_e \cdot v_e = S_s \cdot v_s$$

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

Ley de continuidad en HEMODINAMICA

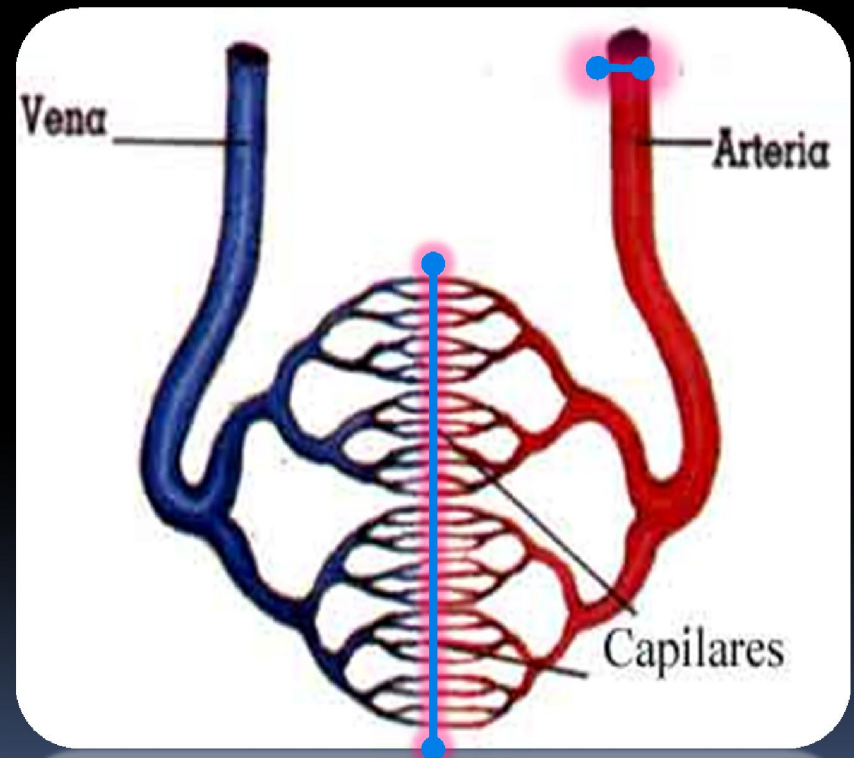
$$S_e \cdot v_e = S_s \cdot v_s$$

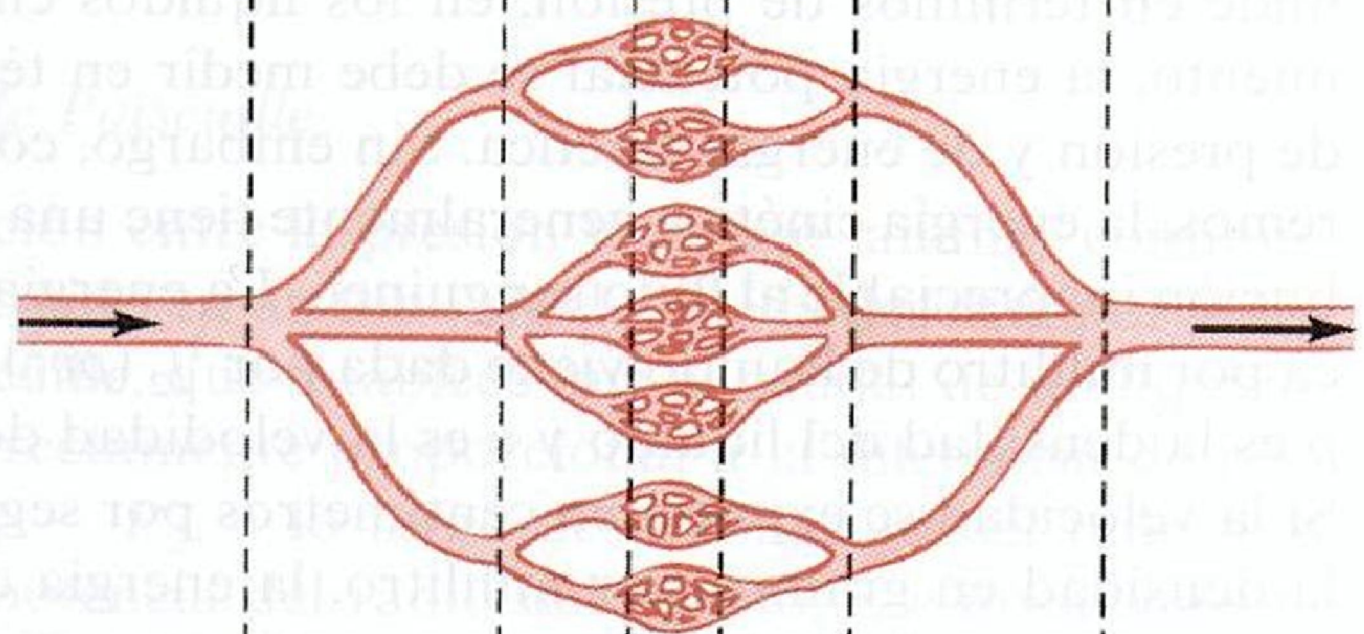
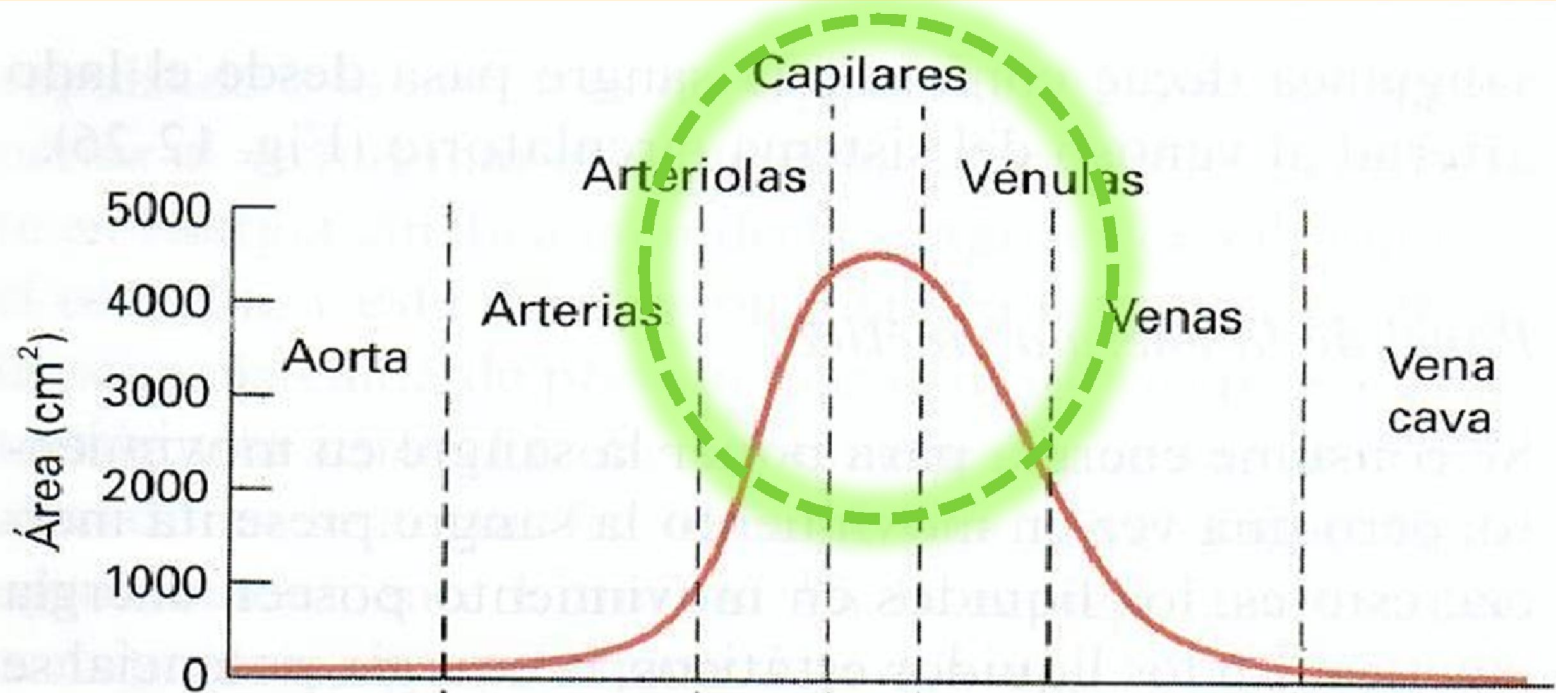
Si comparamos la velocidad de la sangre por las ARTERIAS con la de los CAPILARES ¿será mayor, menor, igual?

- Área capilar: $2 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$
- Área arteria: 7 cm^2

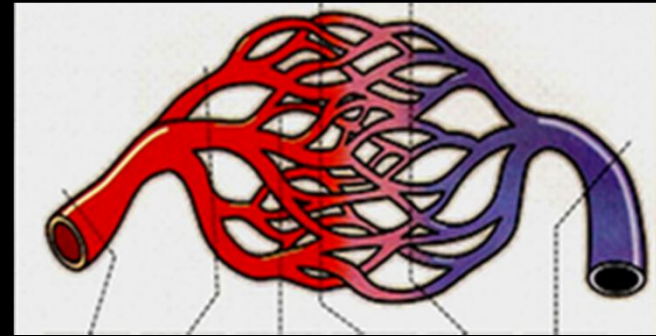
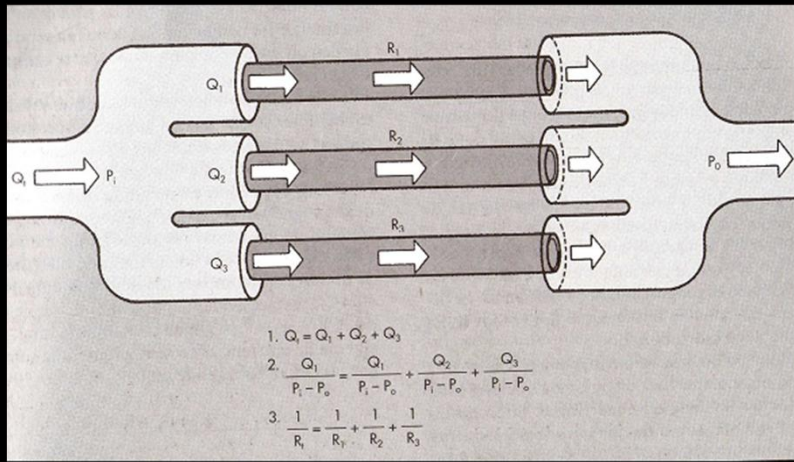
La realidad es que la velocidad de la sangre a nivel de los capilares debe ser **BAJA**, para facilitar el intercambio. COMO SE EXPLICA?

Area total capilares: 4000 cm^2





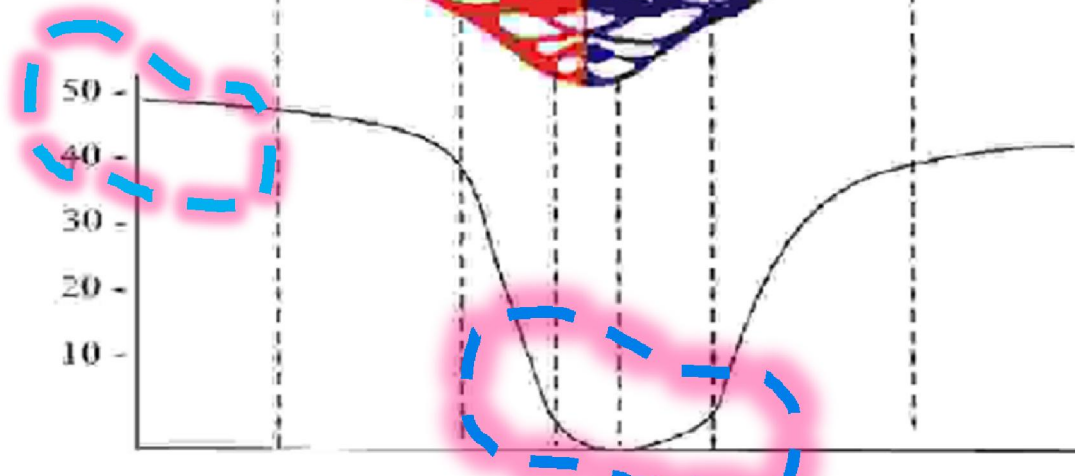
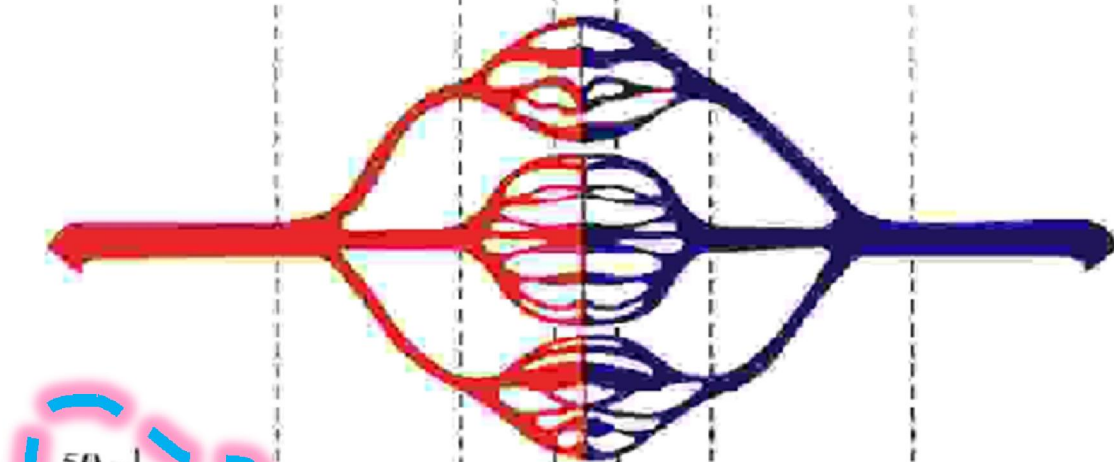
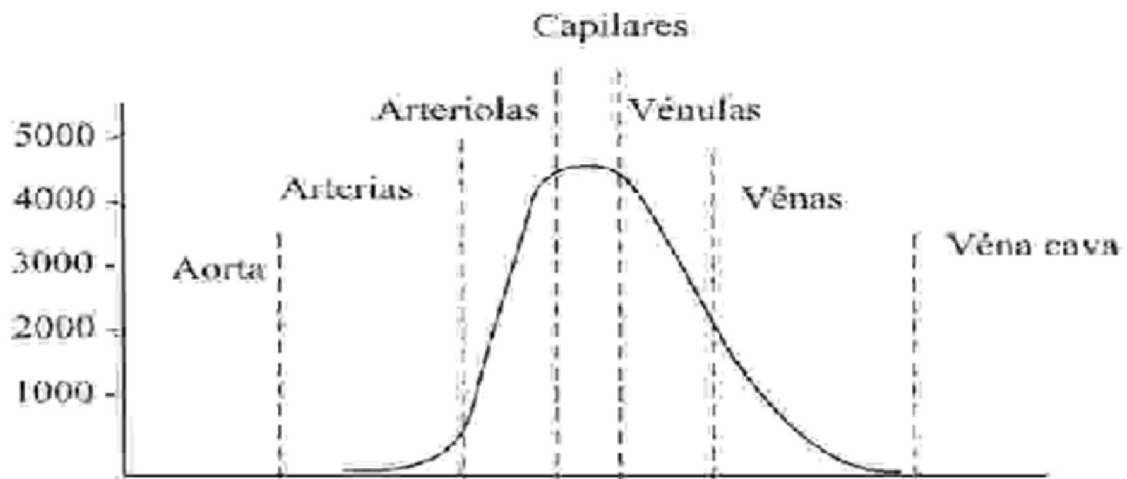
Ley de continuidad aplicada en la **microcirculación**



- *¿Cómo debería ser la velocidad de la sangre a nivel de los capilares, para permitir el intercambio de nutrientes?*

Ley de continuidad en Hemodinamica

- Esta relación inversa entre área de sección y velocidad es valida solo si el Q se mantiene constante
- Cuando el área de sección transversal de todos los vasos aumenta, como en los capilares, la velocidad disminuye y cuando el área de sección transversal disminuye, como en el territorio venoso, la velocidad aumenta.



PRINCIPIO DE BERNOULLI

- Evalúa los **CAMBIOS ENERGÉTICOS** que ocurren en la circulación de un fluido por un tubo rígido
- Sabemos que la energía es increable, ni indestructible, sino que se **TRANSFORMA**
- La **E° total** de un líquido en movimiento presenta 3 componentes:

1. **E_p** (energía de presión lateral)
2. **E_g** (energía potencial gravitatoria)
3. **E_c** (energía cinética)

Según el Principio de Conservación de Energía

$$E_p + E_g + E_c = \text{constante}$$

Para obtener la Ecuación de Bernoulli...

$$E_p + E_g + E_c = \text{constante}$$

- Expresemos lo que representa cada término:

1) $E_p: P \cdot V$

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

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

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



EXPRESIÓN GRAL DE LA EC. DE BERNOULLI

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

como m/V es δ

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

P lateral

$\delta . g . h$ gravitatoria

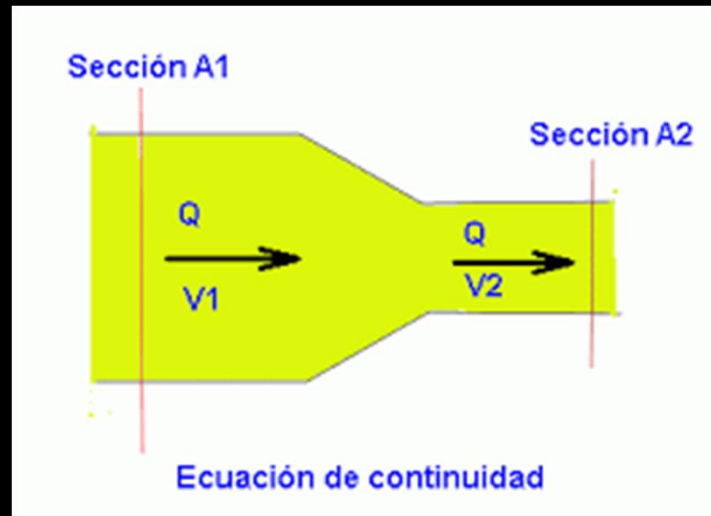
$1/2 . \delta . v^2$ cinética

P_L

P_g

P_c

Analizamos desde el PUNTO DE VISTA ENERGETICO el ejemplo anterior



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

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

$$P1 + P_g1 + P_c1 = P2 + P_g2 + P_c2$$

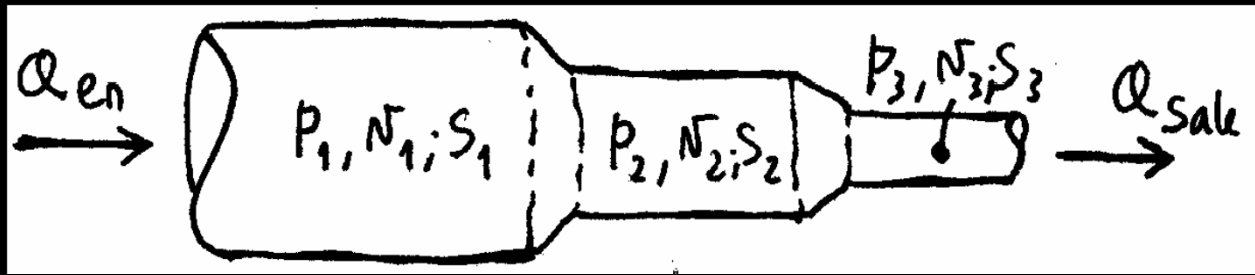
*No es difícil advertir que si la SUMA de los mismos debe preservarse **CONSTANTE**, cuando aumenta uno de sus miembros la suma de los otros deben disminuir en la misma magnitud*

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 :

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



TRAMO 1			TRAMO 2	
AREA 1	>		AREA 2	
VELOCIDAD 1	<		VELOCIDAD 2	
$P_{CINETICA 1}$	<		$P_{CINETICA 2}$	
$P_{LATERAL 1}$	>		$P_{LATERAL 2}$	



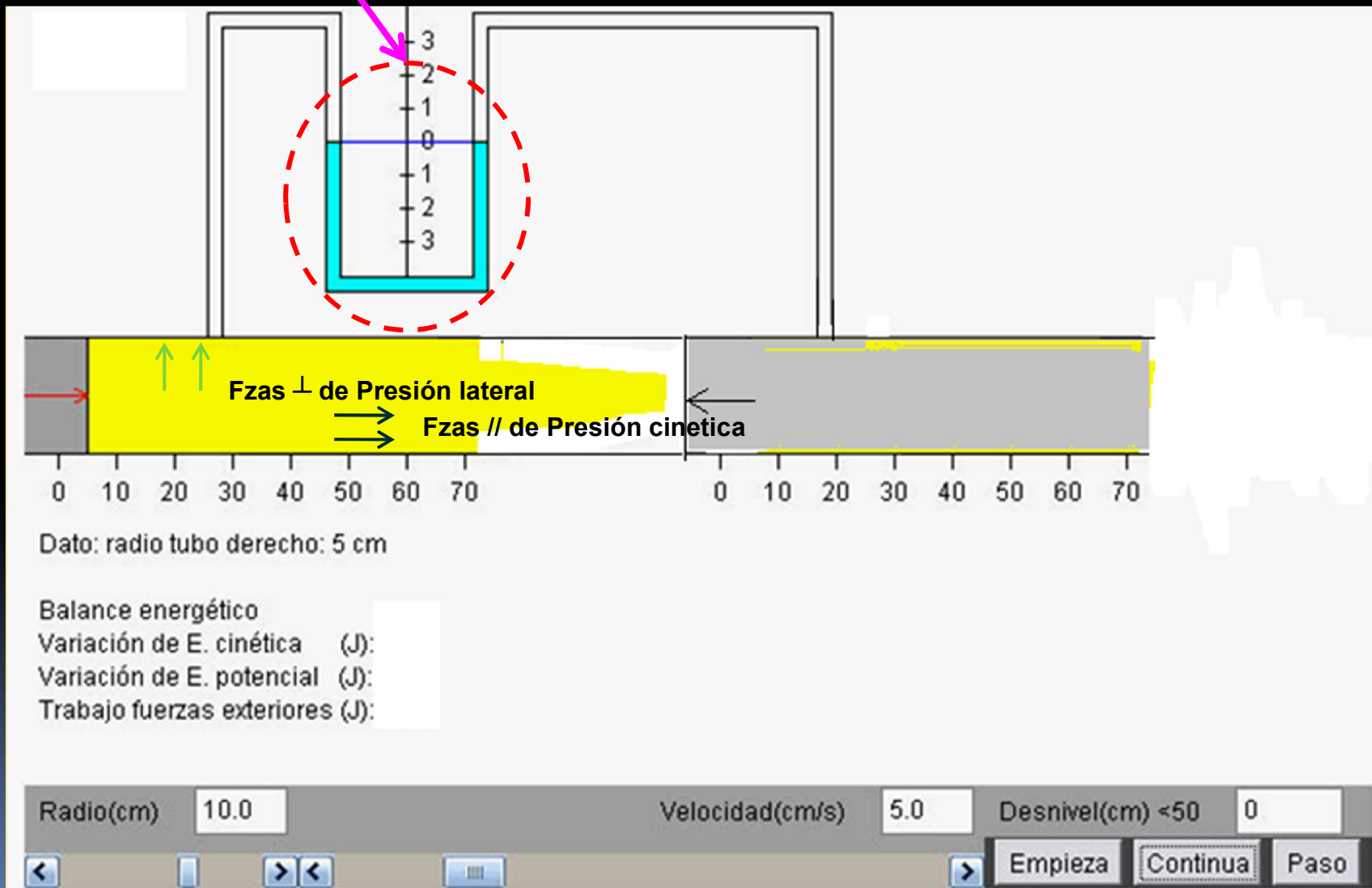
LEY DE CONTINUIDAD

ECUACIÓN DE BERNOULLI

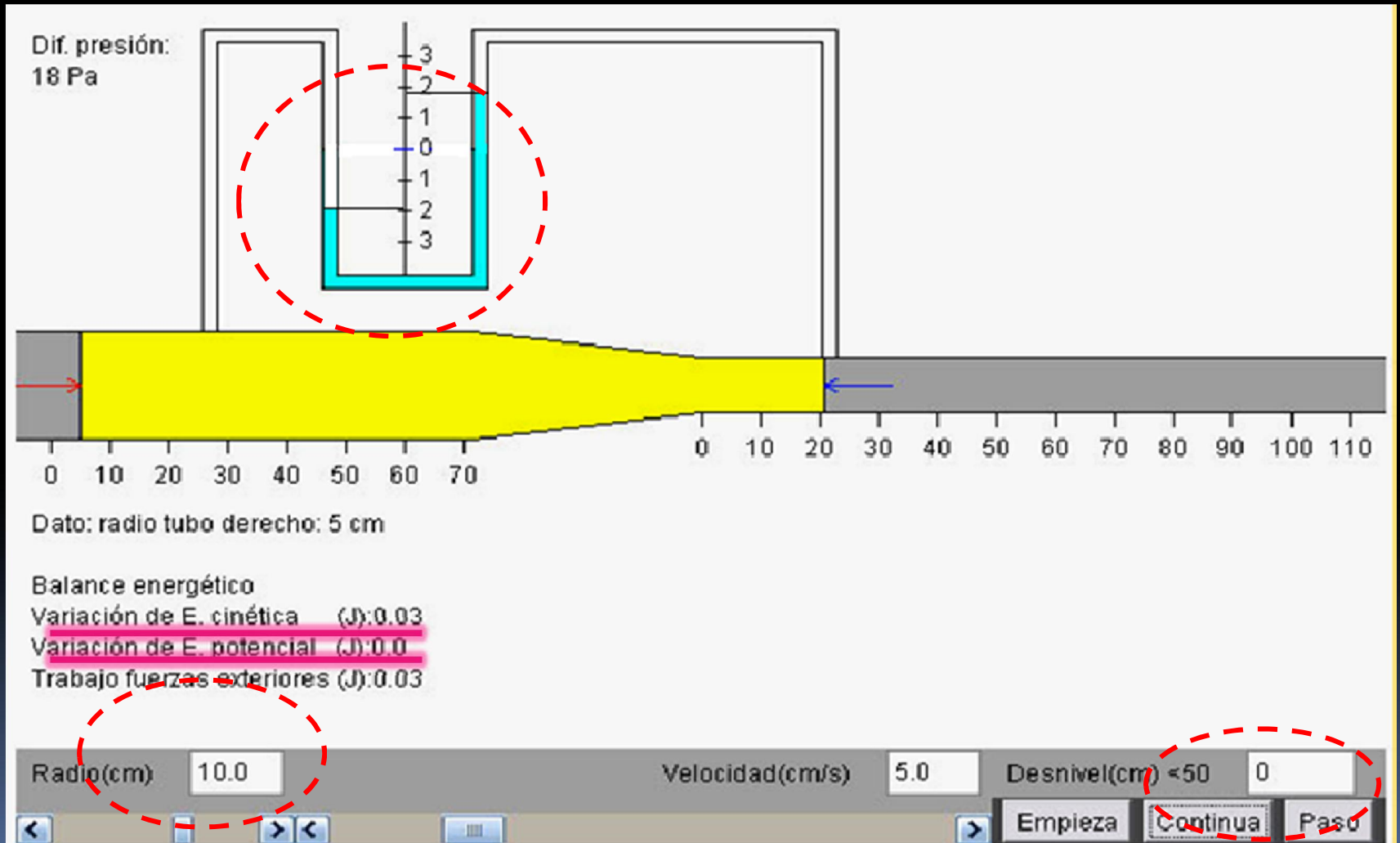
MANÓMETRO:

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

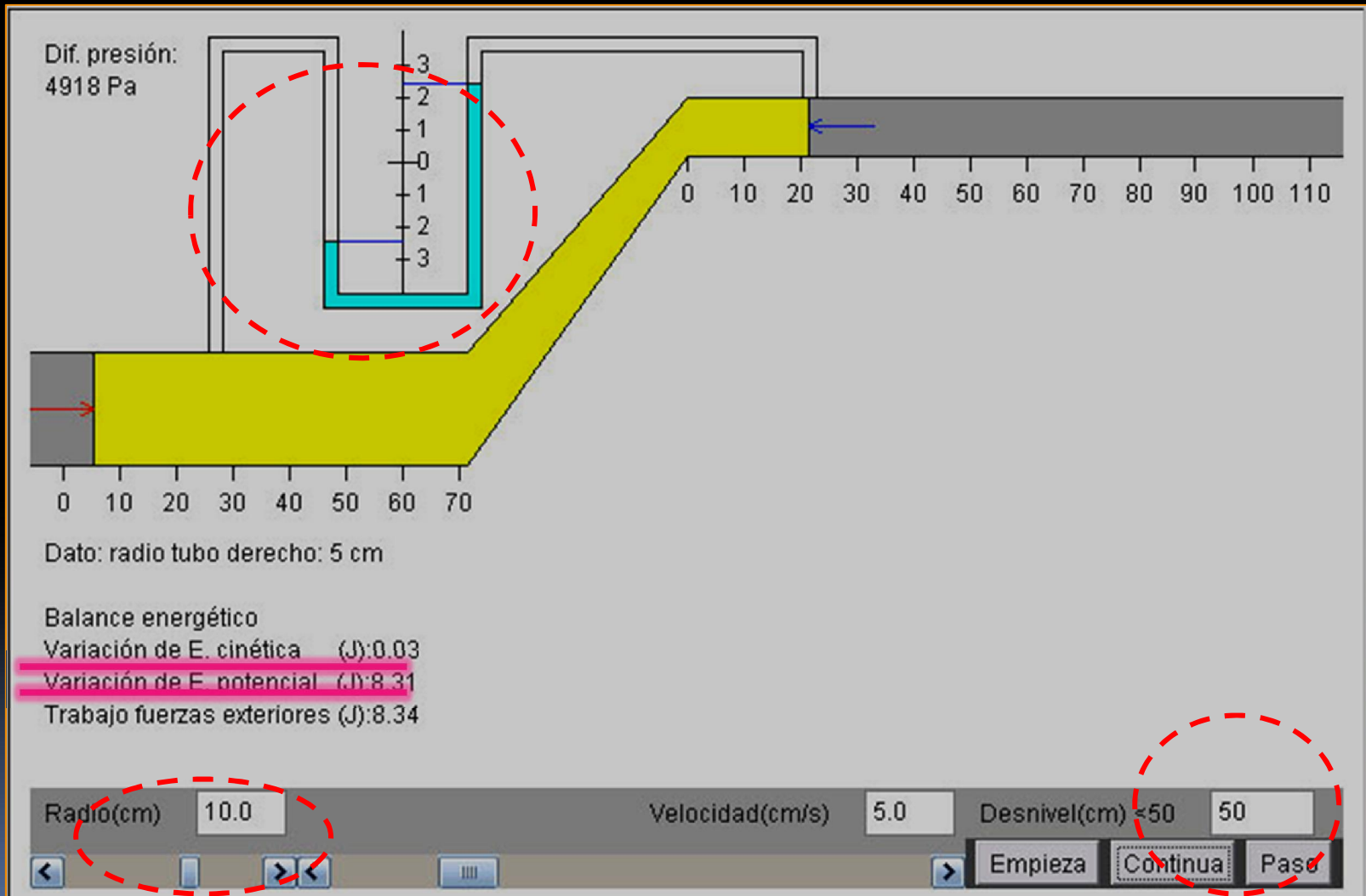
TUBO DE VENTURI



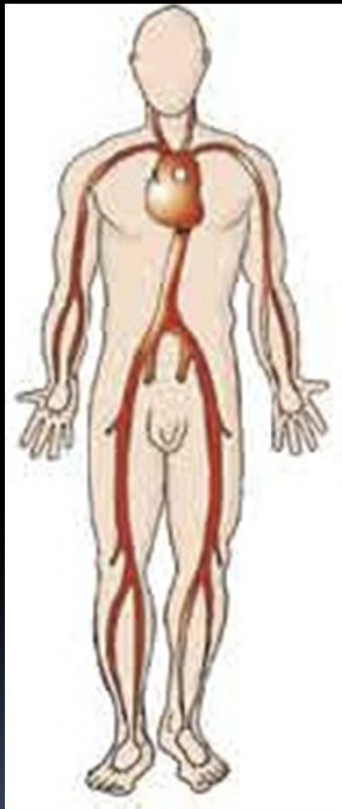
Tubos de Venturi horizontales y con un estrechamiento



Tubos de Venturi con desnivel y estrechamiento



APLICACIONES AL SISTEMA CARDIOVASCULAR



- Estas ecuaciones nos serán muy útiles para analizar la circulación de la sangre a través de nuestro "sistema de cañerías" (arterias, arteriolas, venas, etc)
- 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**

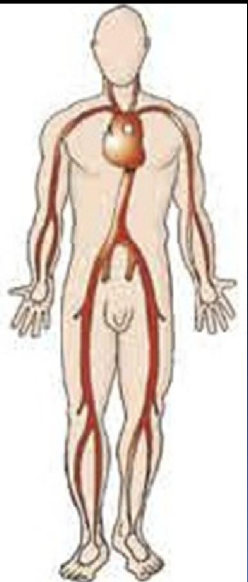
El comportamiento de la circulación se desvía en cierto grado de lo manifestado anteriormente.

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

APLICACIONES DEL TEOREMA DE BERNOULLI AL ARBOL VASCULAR

- Si comparáramos el sector arterial con el sector venoso experimentalmente se observaría que el teorema de Bernoulli no se cumple:

$$\underbrace{Epl_a + Eg_a + Ec_a}_{\text{Sección arterial}} > \underbrace{Epl_v + Eg_v + Ec_v}_{\text{Sección venoso}}$$



¿Cual es el termino 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 una vena cava es aprox. el mismo que el de la aorta

$$v_a = v_v$$

$$Ec_a = Ec_v$$

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

$$\blacksquare \text{Epl}_a + \cancel{\text{Eg}_a} + \cancel{\text{Ec}_a} > \text{Epl}_v + \cancel{\text{Eg}_v} + \cancel{\text{Ec}_v}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{Epl}_a & > & \text{Epl}_v \\ p_a & > & p_v \end{array} \quad \longrightarrow \quad Pd = p_a - p_v$$

(P.Arteriovenosa)

- La sangre al ser un **liquido real** que circula a través de tubos no rígidos, presenta una pérdida de energía por frotamiento, experimentalmente podemos comprobar que la **Pd (ΔP)** depende de 4 factores:

- | | | |
|--|----------------------------|---|
| 1. Caudal (Q) | } Proporcionalidad DIRECTA | } $\Delta P = \frac{Q \cdot L \cdot (\eta)}{r}$ |
| 2. Longitud (L) | | |
| 3. Viscosidad (η) \longrightarrow | } Proporcionalidad INVERSA | |
| 4. Radio (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)

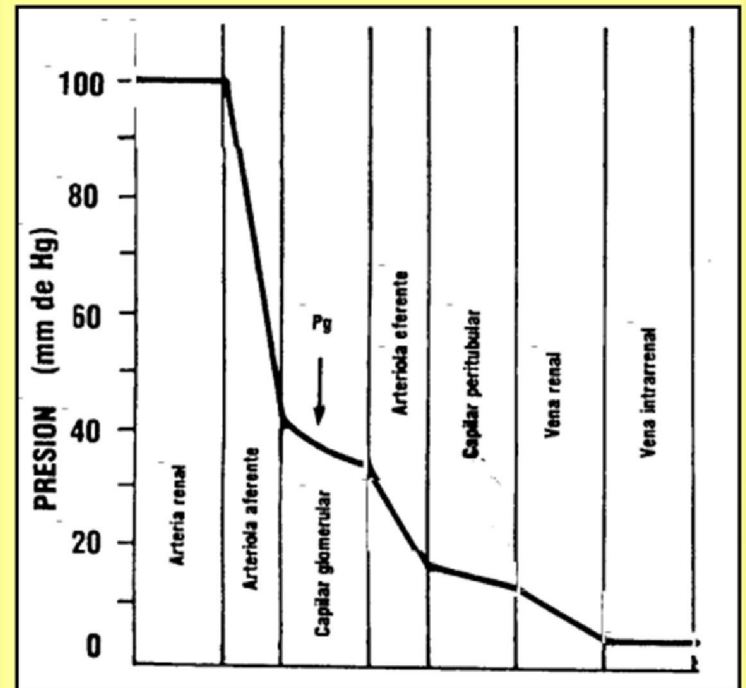
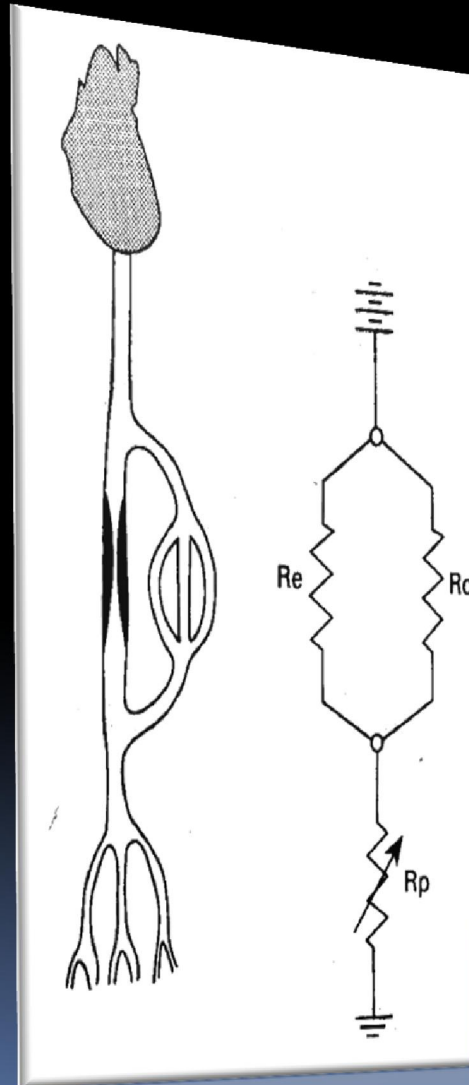
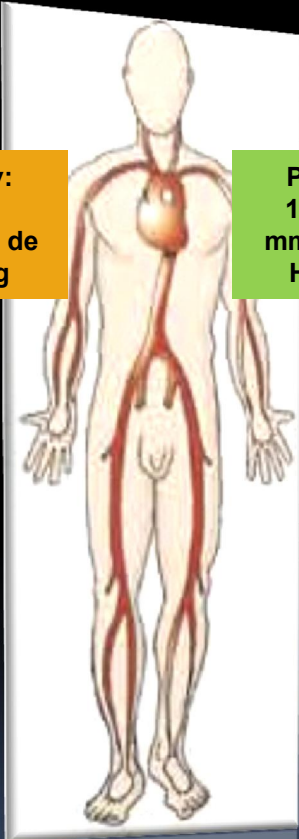
- *Una forma abreviada de expresarla es:*

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

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

Pv:
5
mm de
Hg

Pa:
100
mm de
Hg



Un líquido viscoso al fluir se puede “deformar”

El concepto de **líquido ideal** se utiliza en el estudio de la hidrodinámica para hacer referencia a un fluido imaginario que no ofrece resistencia al desplazamiento. En él, todas las láminas del fluido se desplazan a la misma velocidad. Se dice que el movimiento es de *Bernouilli* o *sin rozamiento*.

Los **líquidos reales**, por el contrario, ofrecen cierta resistencia al desplazamiento de unas láminas sobre otras. Estas se desplazan de forma similar a como se extiende una baraja de naipes sobre la mesa (Fig 1).

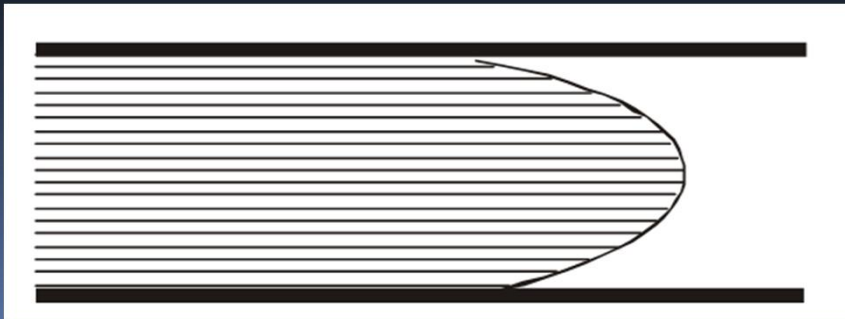


Fig. 1. Izquierda: Régimen de Bernouilli. Derecha: Régimen de Poiseuille

Tipos de Flujos

■ FLUJO LAMINAR

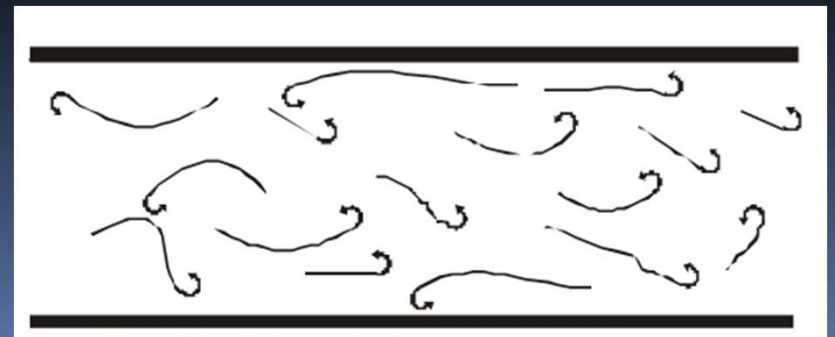
Cuando un líquido fluye en forma continua por un circuito de tuberías de paredes rígidas, lo hace (dentro de ciertos límites de velocidad) con un régimen de flujo llamado laminar, consistente en el *desplazamiento de capas del mismo con velocidades diferentes determinando un frente de avance convexo que semeja un proyectil*



➤ FLUJO TURBULENTO

Es el que se produce cuando se desorganiza el flujo laminar, se debe a una modificación en la relación entre la velocidad, el calibre, la densidad y la viscosidad del líquido.

Esta desorganización del flujo determina la rotura del frente de avance **dando como consecuencia que las partículas del líquido siguen diversas direcciones y sentidos.**



¿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**.

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

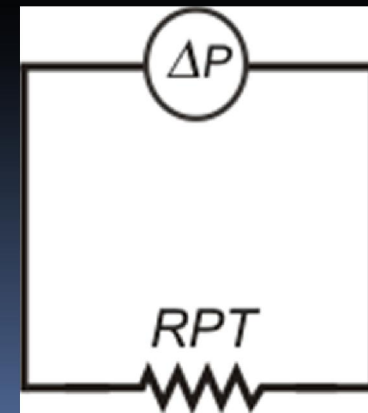
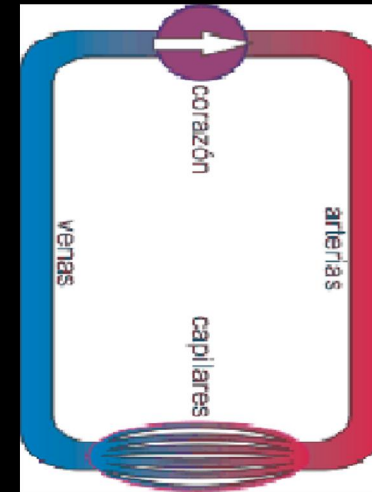
Si $N_R < 1000$ régimen laminar

Si $N_R > 2000$ régimen turbulento

Si $1000 > N_R > 2000$ en transición

ELECTRODINÁMICA

- Para aplicar las leyes de la electrodinámica, debemos reducir, 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 a través de la resistencia R .
- Esta es una disposición absolutamente igual a la de un circuito eléctrico con un fuente de corriente continua (una pila, una batería o un rectificador), los cables y la resistencia:



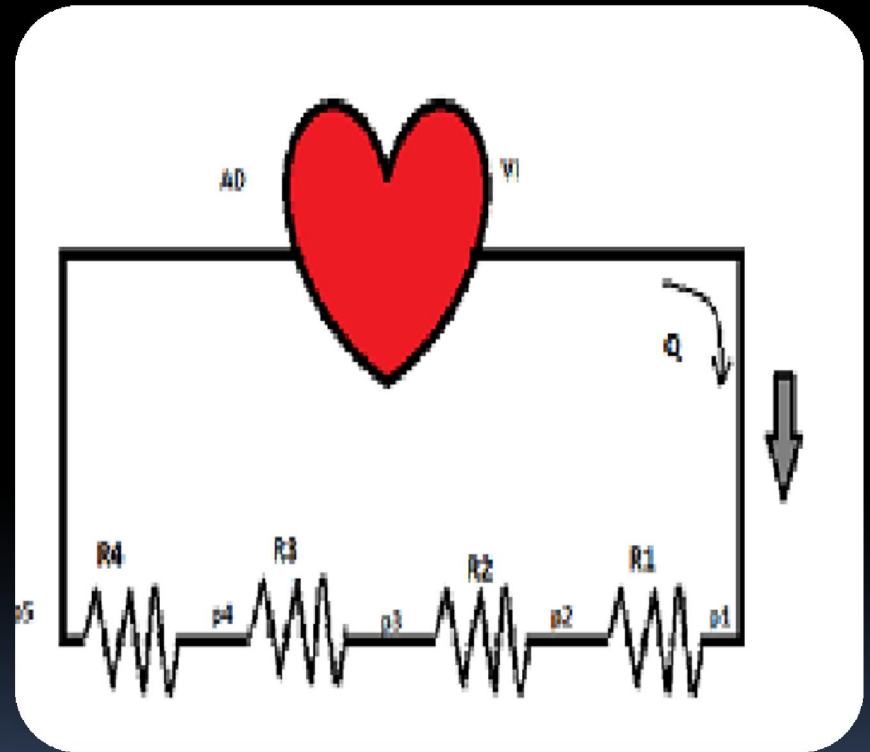
- Por lo que podremos aplicar la ley de Ohm:

- $I = \frac{\Delta V}{R}$  $Q = \frac{\Delta P}{R}$

Las R pueden estar en SERIE o en PARALELO

EN SERIE

- Es la que ofrece TODO el sistema circulatorio, los distintos segmentos vasculares.
- Las Resistencias se disponen una detrás de otra.
- Cada una de las R está sometida a una diferencia de presión distinta, "cayendo" desde el extremo de mayor presión al de menor presión
- El Q es el mismo en cada una de las resistencias y es proporcional a la resistencia total
- **$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3$**

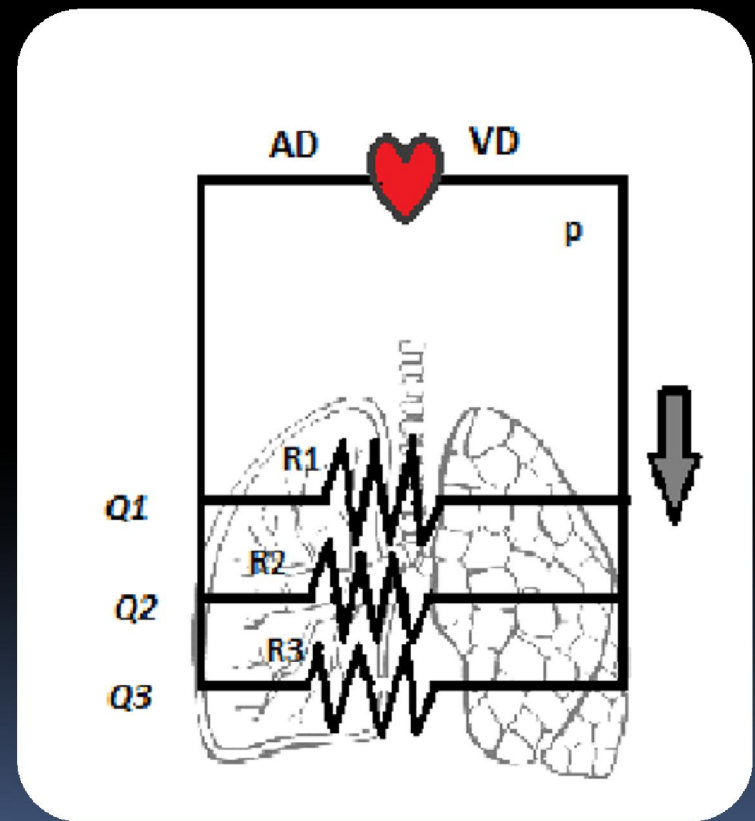


Las R pueden estar en SERIE o en PARALELO

EN PARALELO:

- Es la Resistencia que ofrece un solo organo
- En esta disposición todos los órganos están sometidos a la misma diferencia de presión
- El flujo (Q) a través de cada órgano está en función de la resistencia interna de ese órgano
- La resistencia total (Rtotal) de un sistema en paralelo se calcula como:

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





Este es el

FIN