



Facultad de Medicina

**Universidad Autónoma del Estado de México**

**Facultad de Medicina**

**Licenciatura de Médico Cirujano**

**Unidad de aprendizaje: Fisiología**

Unidad de competencia II

“Conceptos fundamentales de Física Médica que participan en la circulación: presión , flujo y resistencia”

Elaborado por: M. en C.F. Virgilio Eduardo Trujillo Condes

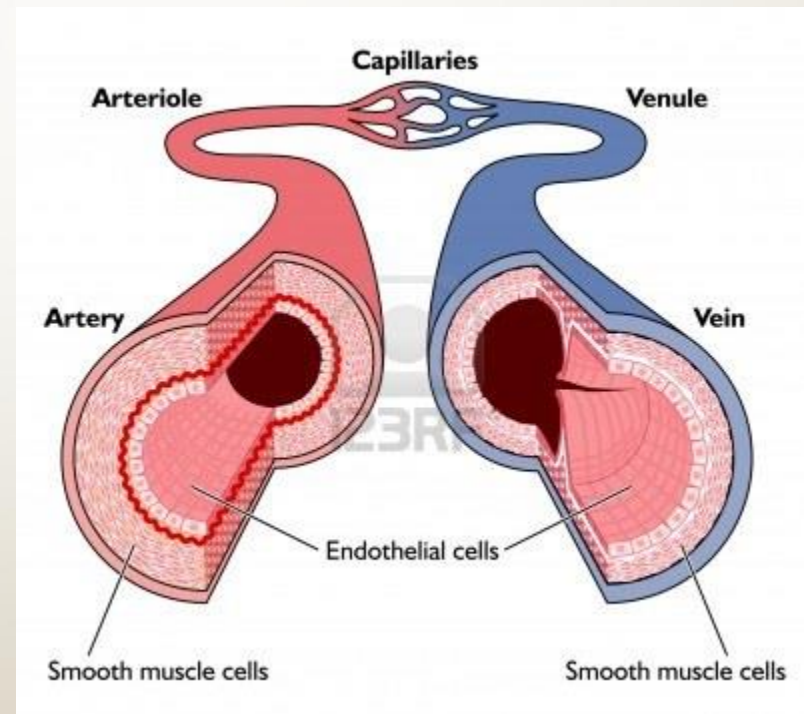
**Agosto de 2017.**

# Guión

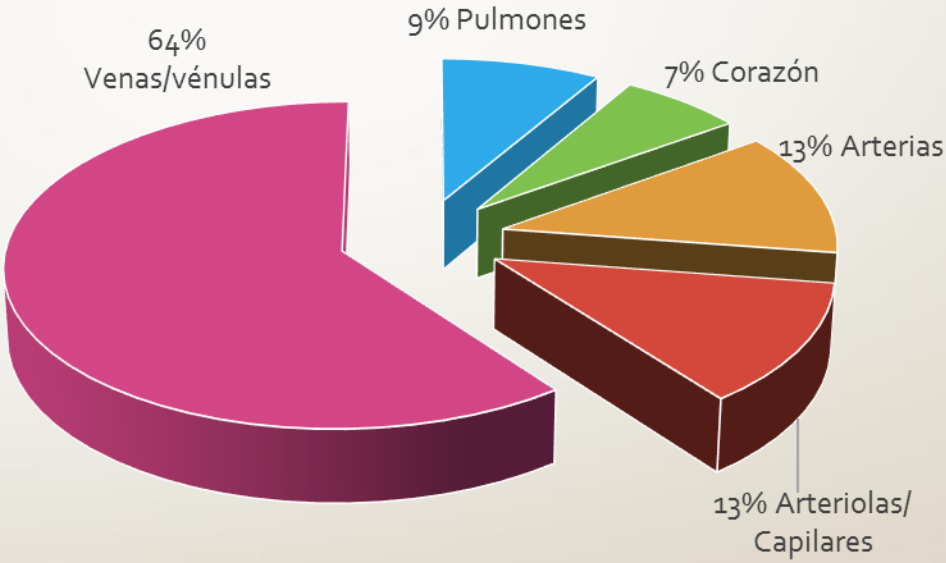
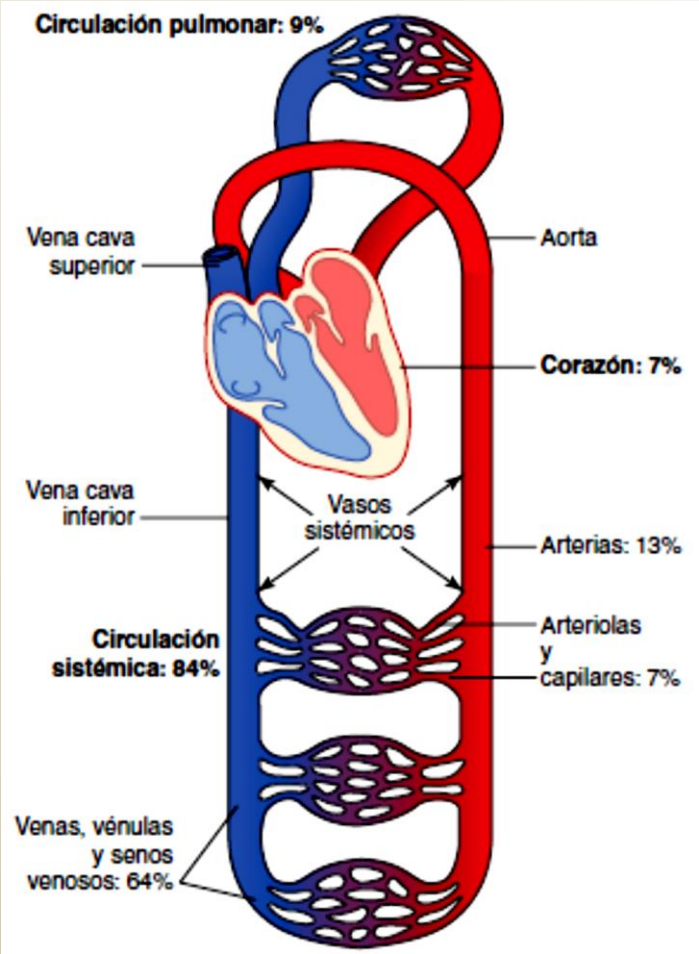
- Compara los vasos de capacitancia con los vasos de resistencia en relación a su estructura y función.
  - Analiza la Ley de Ohm aplicada a la hemodinamia.
  - Calcula flujo sanguíneo, presión y resistencia utilizando la Ley de Ohm
  - Analiza la fórmula de Poiseuille-Hagen y su relación con la resistencia al flujo.
  - Analiza la Ley de Laplace y su aplicación en hemodinamia.
  - Analiza la relación entre flujo, resistencia y área de sección transversal.
  - Analiza la variación de flujo, resistencia y área de sección transversal en los diferentes segmentos de la circulación: arterias, venas, capilares, etc. y lo relaciona con su función.
  - Compara flujo laminar y flujo turbulento.
  - Analiza el mecanismo por el que el flujo laminar cambia a flujo turbulento.
  - Analiza los factores que determinan el número de Reynolds y lo aplica para determinar si hay flujo turbulento.
- Relaciona el flujo turbulento con los soplos cardiacos.

# FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS DE LA CIRCULACIÓN

- **ARTERIAS:** Transportan sangre a los tejidos bajo presión elevada.
- **ARTERIOLAS:** Válvulas de control de flujo a los tejidos por su amplia pared muscular.
- **CAPILARES:** Intercambio de nutrientes, líquidos, gases, etc. Entre la sangre y el líquido intersticial.
- **VÉNULAS:** Recogen sangre de los capilares.
- **VENAS:** Conducen la sangre hacia el corazón. Importante reservorio de sangre.



# Distribución del volumen sanguíneo

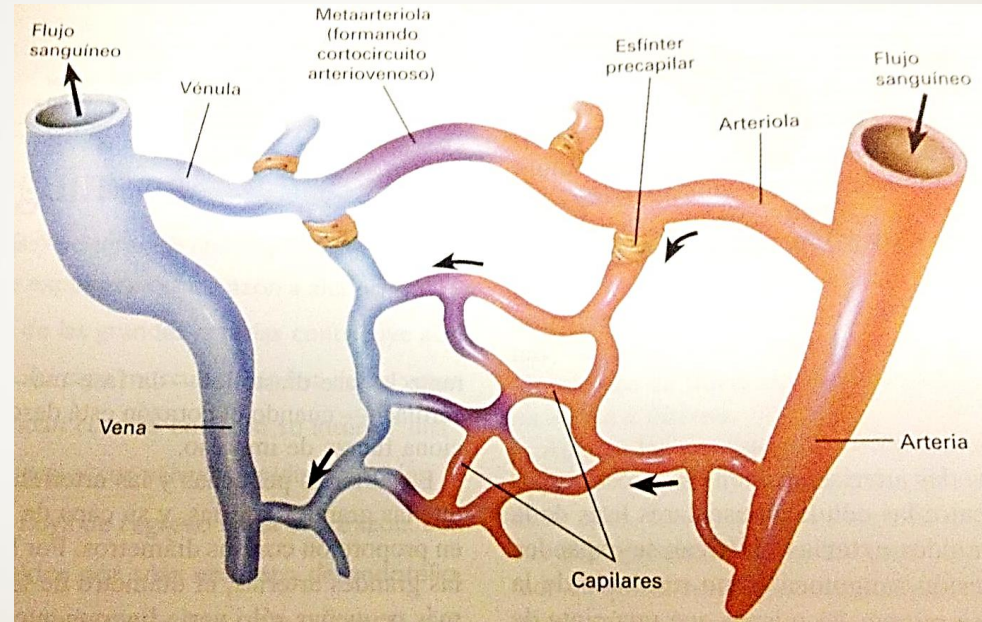


# Áreas transversales

cm<sup>2</sup>

Aorta-----	2.5
Arterias pequeñas-----	20
Arteriolas-----	40
Capilares-----	2500
Vénulas-----	250
Venas pequeñas-----	80
Vena Cava-----	8

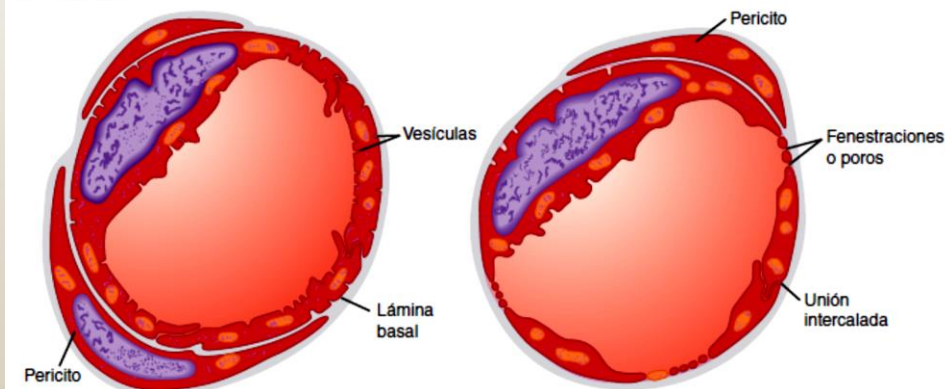
$$v = F/A$$



- Metaarteriolas?
- El área total de los capilares es  $> 6,300 \text{ m}^2$

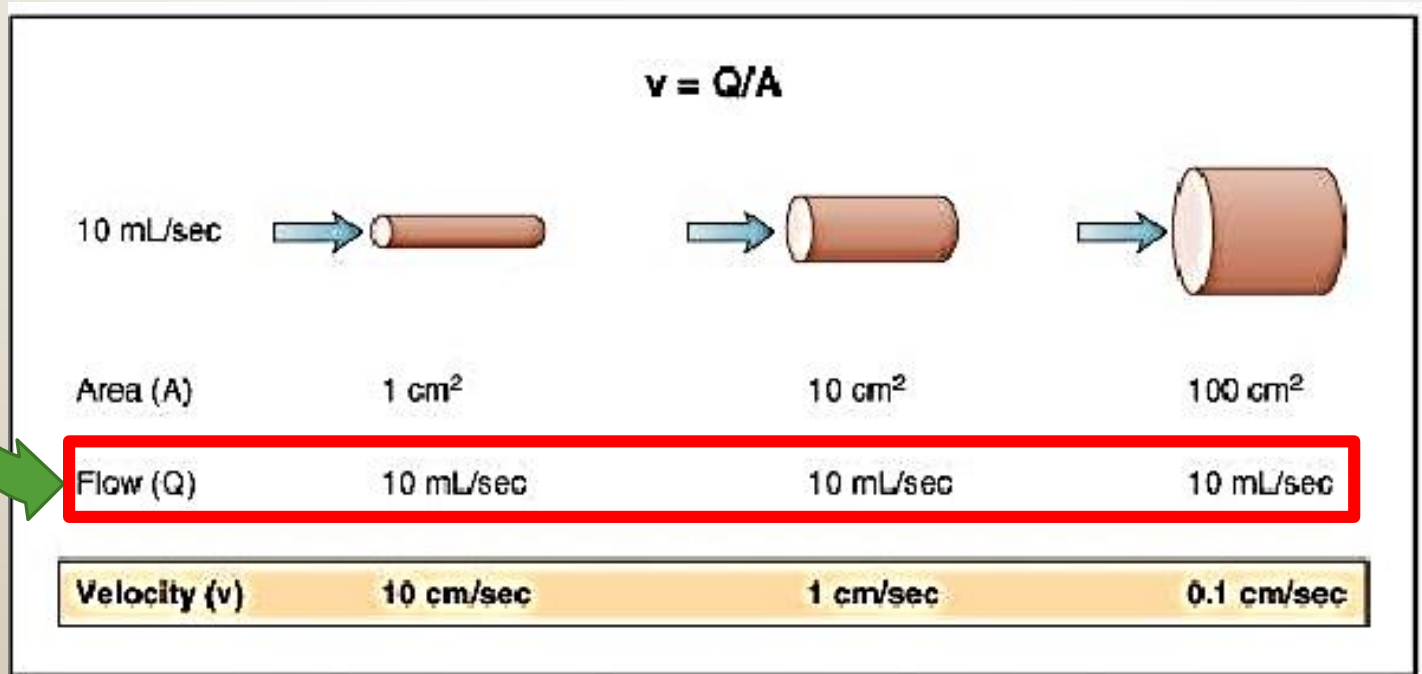
Vaso	Diámetro de la luz	Grosor de pared	Todos los vasos de cada tipo	
			Área transversal aproximada (cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de volumen sanguíneo contenido <sup>a</sup>
Aorta	2.5 cm	2 mm	4.5	2
Arteria	0.4 cm	1 mm	20	8
Arteriola	30 μm	20 μm	400	1
Capilar	5 μm	1 μm	4 500	5
Vénula	20 μm	2 μm	4 000	54
Vena	0.5 cm	0.5 mm	40	
Vena cava	3 cm	1.5 mm	18	

<sup>a</sup>En los vasos sistémicos, hay 12% más en el corazón y 18% más en la circulación pulmonar.



## La velocidad del flujo sanguíneo

Debe pasar el mismo vol. Sanguíneo a través de c/ segmento de la circulación en c/ minuto.

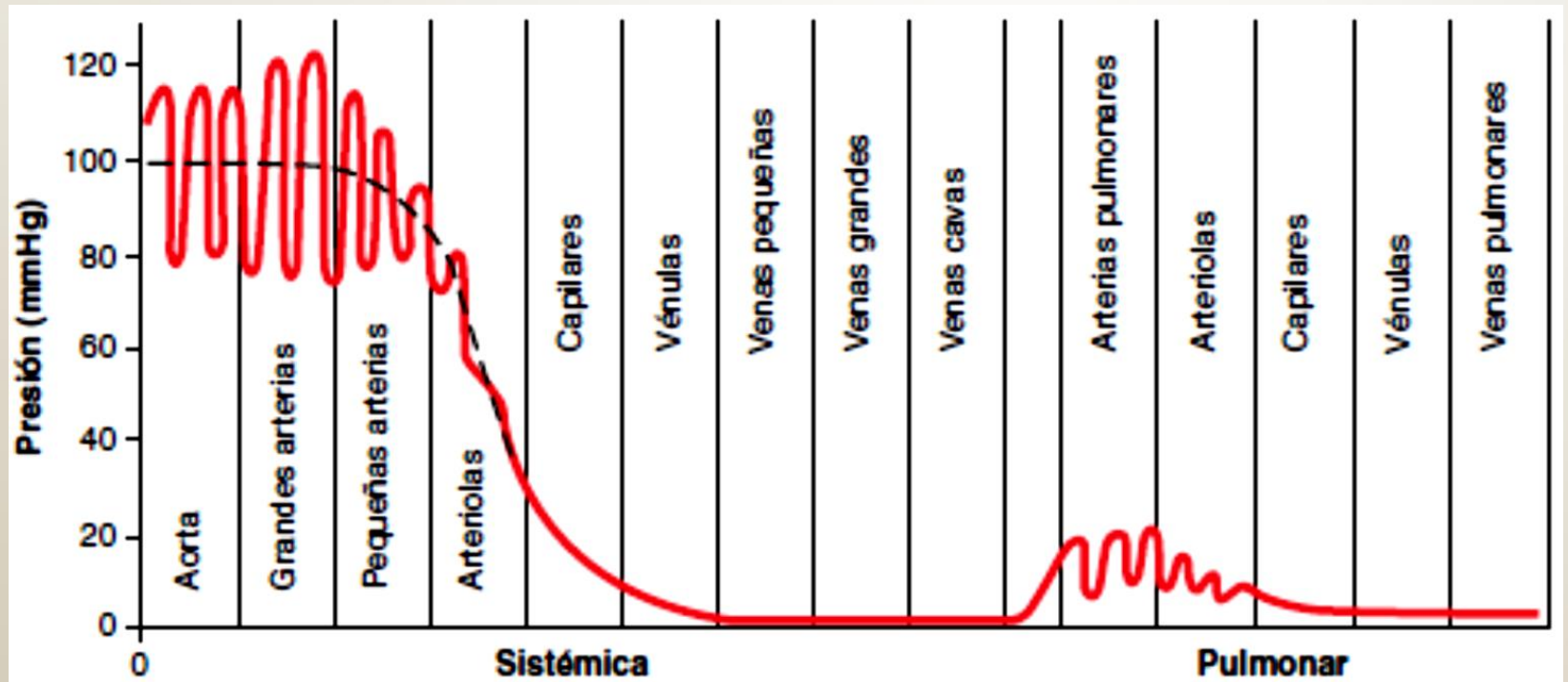


**Cuadro 13.10. Características del aporte vascular a los mesenterios en un perro**

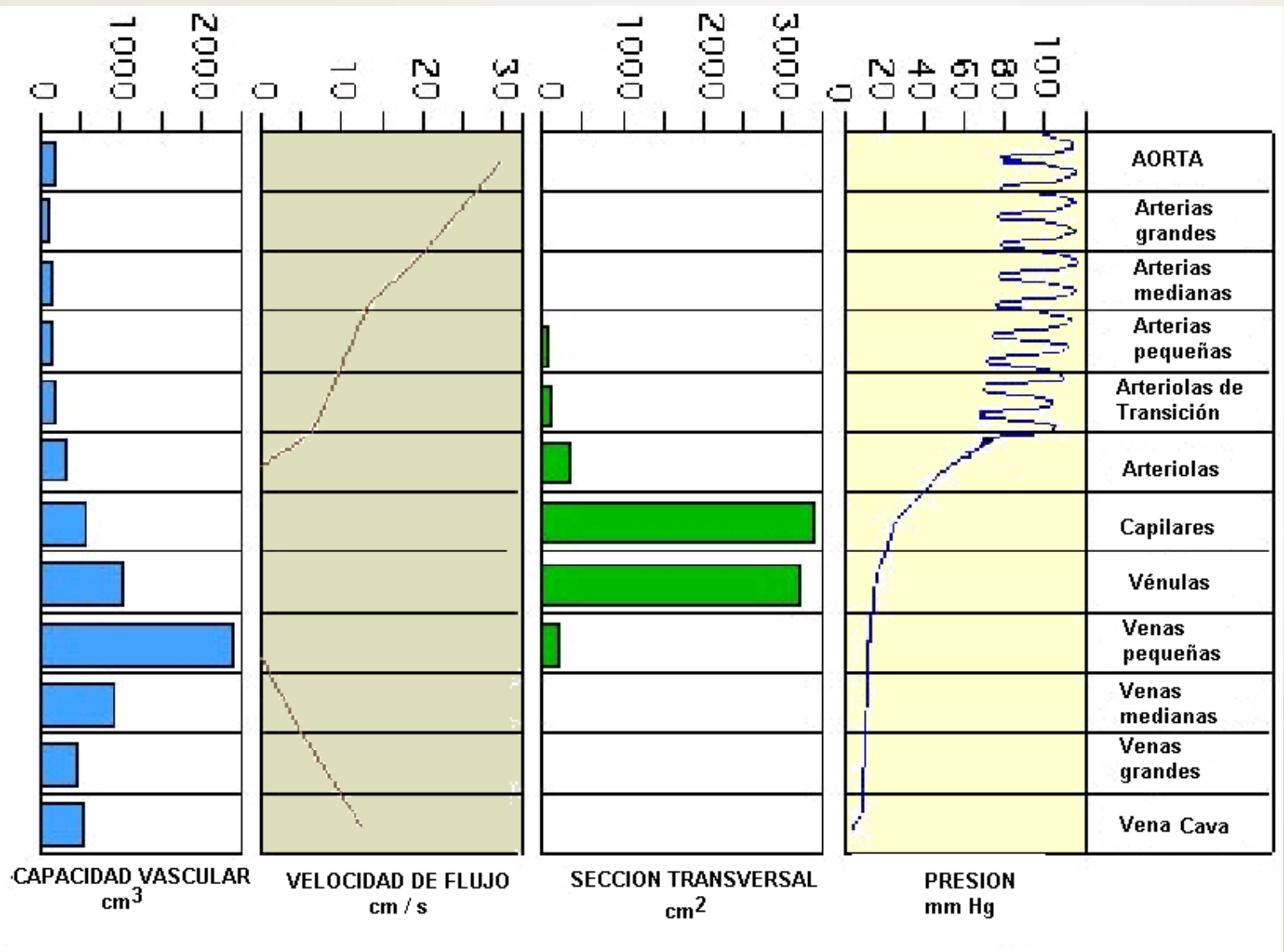
Tipo de vasos	Diámetro (mm)	Número	Área transversal total (cm <sup>2</sup> )	Longitud (cm)	Volumen total (cm <sup>3</sup> )
Aorta	10	1	0.8	40	30
Grandes arterias	3	40	3.0	20	60
Ramas de las grandes arterias	1	600	5.0	10	50
Ramas terminales	0.06	1800	5.0	1	25
Arteriolas	0.02	40 000 000	125	0.2	25
Capilares	0.008	1 200 000 000	600	0.1	60
Vénulas	0.03	80 000 000	570	0.2	110
Venas terminales	1.5	1800	30	1	30
Ramas venosas principales	2.4	600	27	10	270
Grandes venas	6.0	40	1	20	220
Vena cava	12.5	1	1.2	40	50
					<b>930</b>



## Presiones en diferentes segmentos de la circulación



Debe fluir el mismo volumen de sangre a través de cada segmento de la circulación por unidad de tiempo



# PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA FUNCIÓN CIRCULATORIA

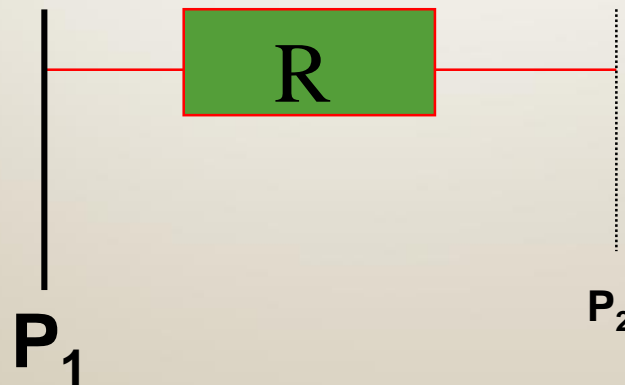
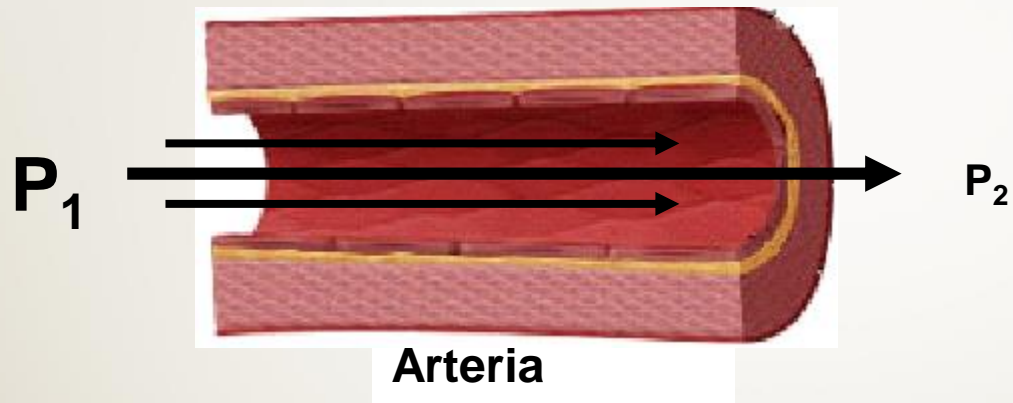
- 1.** El flujo sanguíneo a los tejidos está controlado por las necesidades de éstos.
- 2.** El gasto cardiaco está determinado por la sumatoria de todos los flujos tisulares locales.
- 3.** La presión arterial está controlada en forma independiente del control del flujo local o el control del gasto cardiaco.

# Relación entre flujo, presión y resistencia

El flujo sang. en un vaso está determinado por:

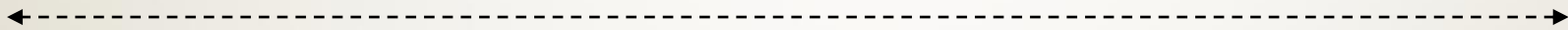
1. Diferencia de presiones en ambos extremos del vaso (gradiente de presión)
2. Los impedimentos para el flujo (resistencia vascular)

# Relación entre Flujo, Presión y Resistencia



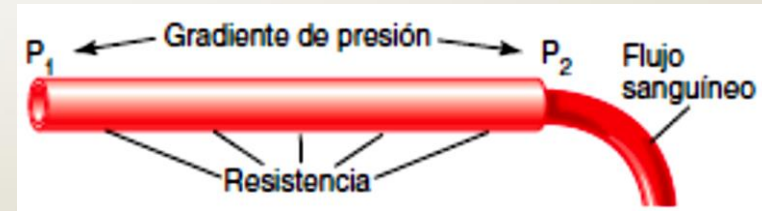
El flujo (Q) a través de un vaso sanguíneo lo determinan 2 factores:

1. Diferencia de presión ( $\Delta P$ ) entre los extremos del vaso
2. Impedimento al flujo de sangre a través del vaso: Resistencia (R)



Interrelaciones presión – flujo - resistencia  
Ley de Ohm

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



$$\Delta P = F \cdot R$$

$$R = \Delta P / F$$

# FLUJO SANGUINEO

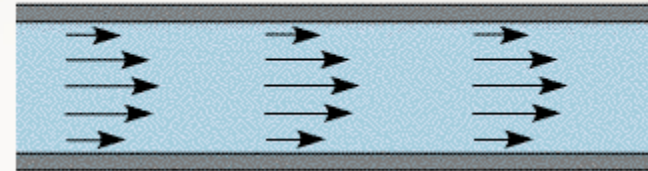
- Cantidad de sangre (L, mL) que pasa por un punto determinado de la circulación en un periodo dado (min o seg). Flujo sanguíneo adulto en reposo (5,000 mL/min):

**GASTO CARDIACO.**

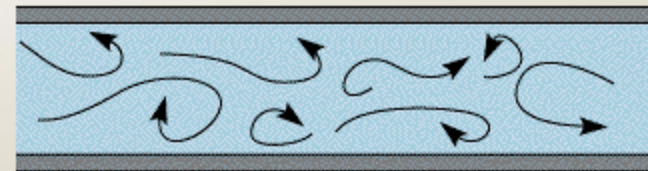
# Tipos de Flujo

- Flujo laminar (aerodinámico):
  - Este flujo se da en condiciones ideales
  - Características:
    - Posee perfil parabólico
    - Cada capa mantiene su distancia de la pared
    - En la pared del vaso el flujo tiende a ser cero
- Flujo turbulento:
  - Se produce por:
    - Irregularidad en el vaso sanguíneo: corrientes torbellino
    - Se requiere de una mayor presión para movilizarlo
    - Se acompaña de vibraciones audibles llamadas **SOPLOS**

Laminar



Turbulent

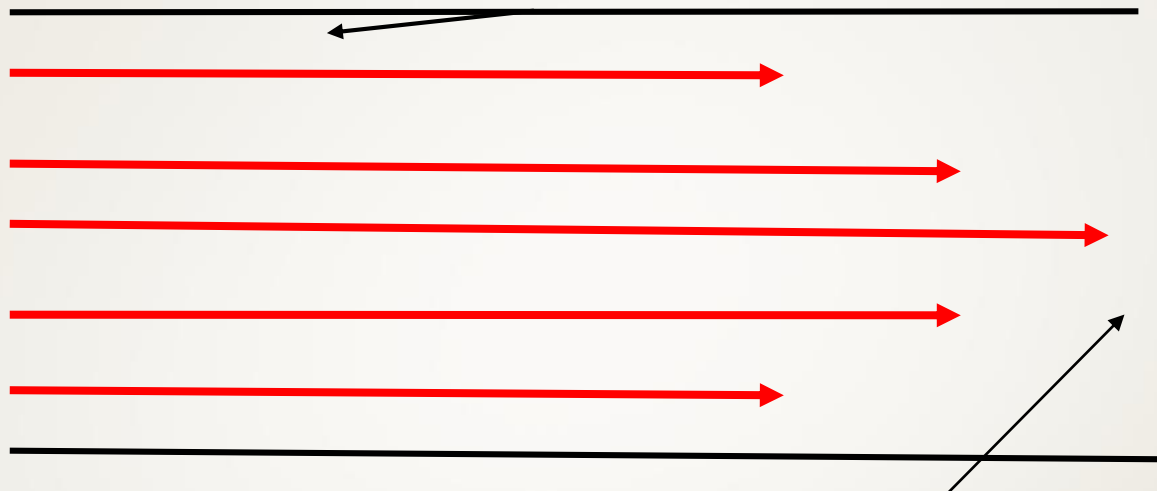






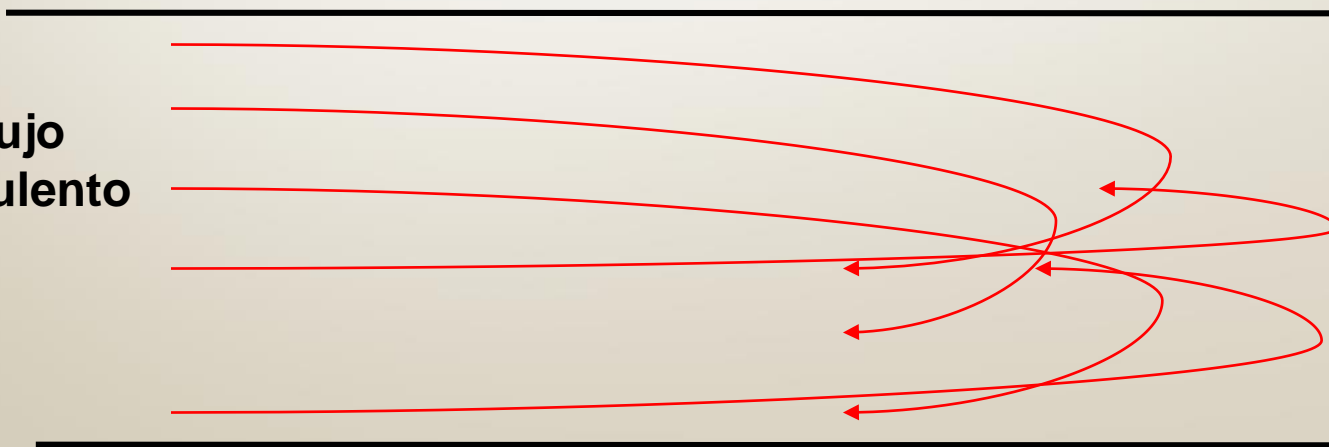
**Flujo  
Laminar**

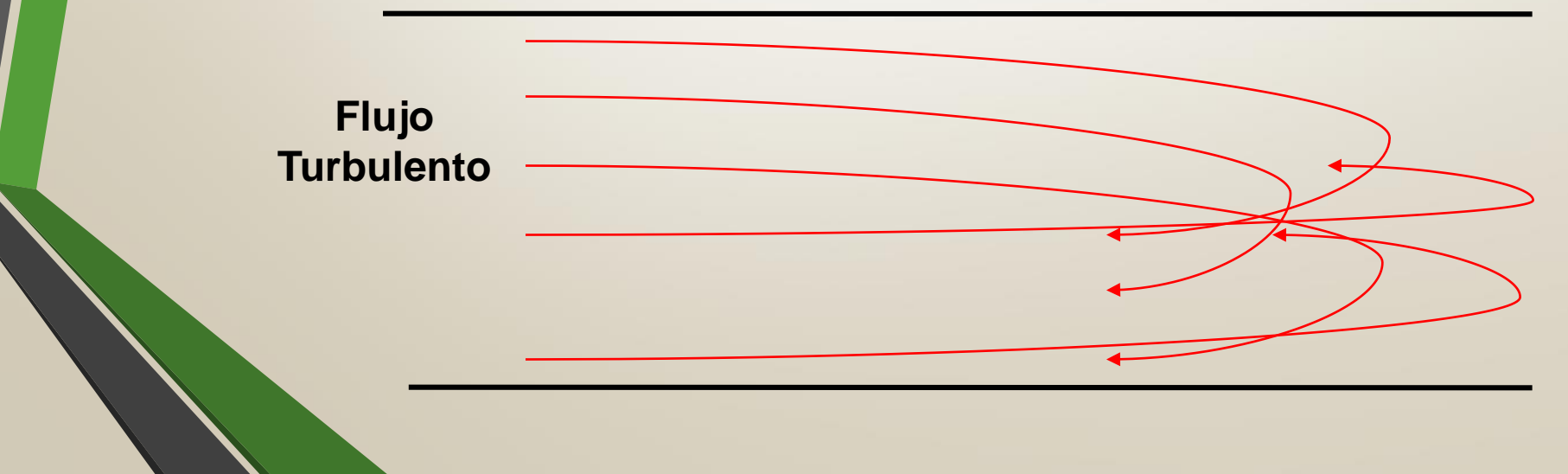
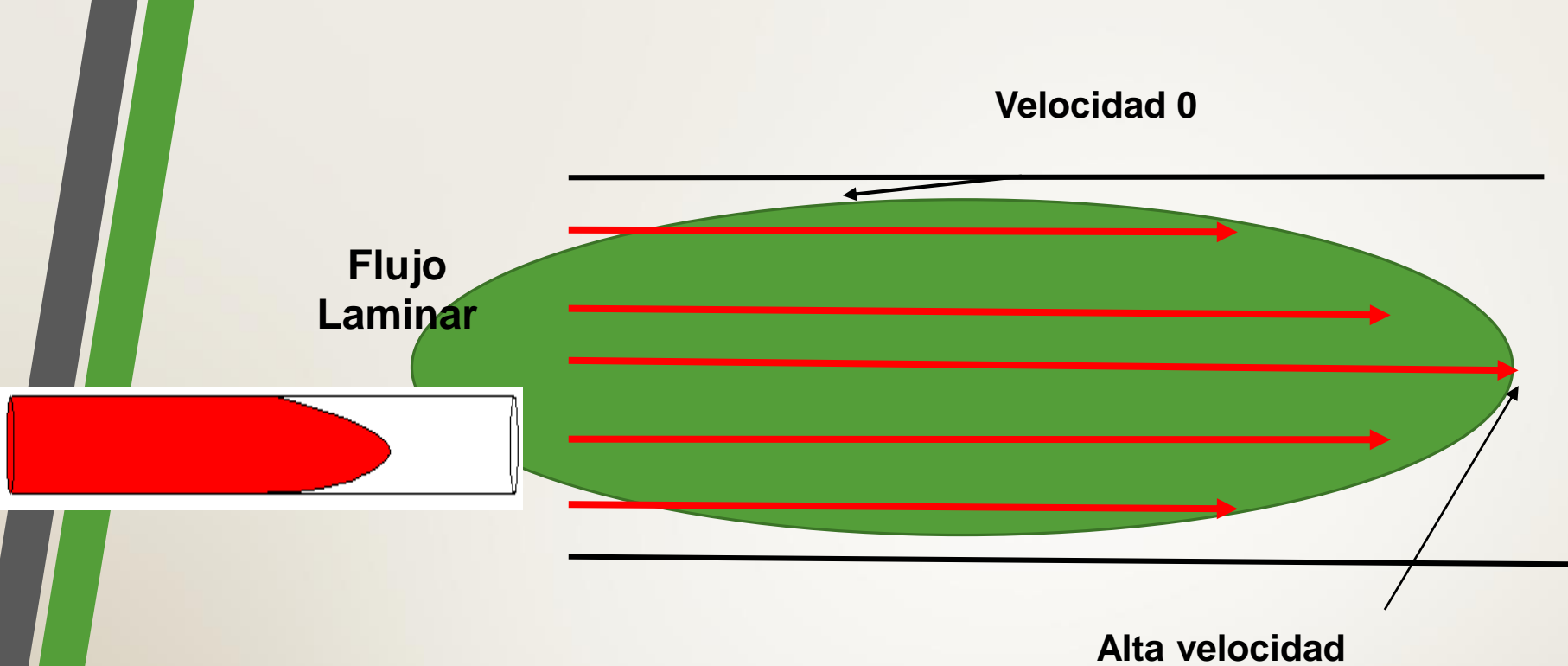
**Velocidad 0**

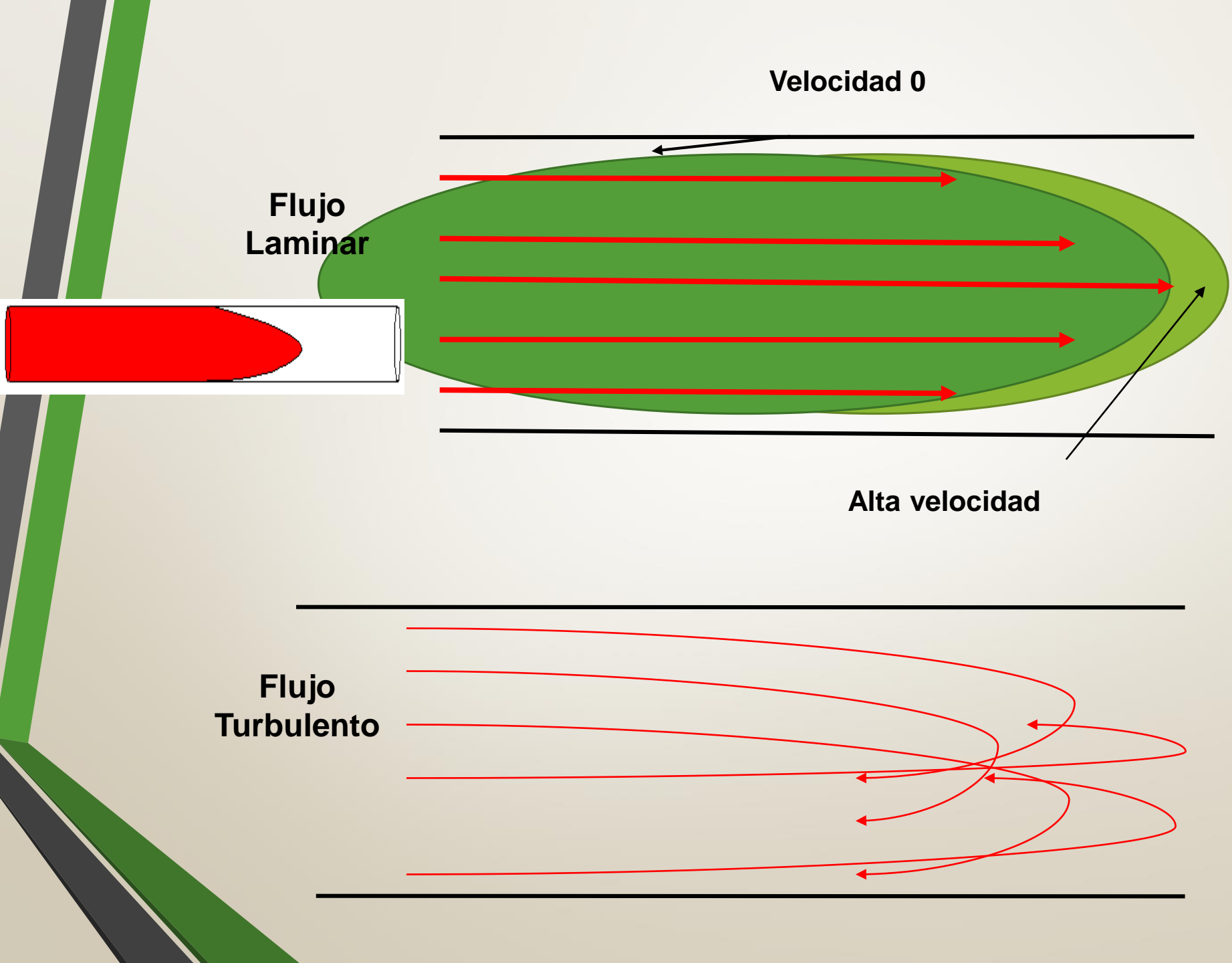


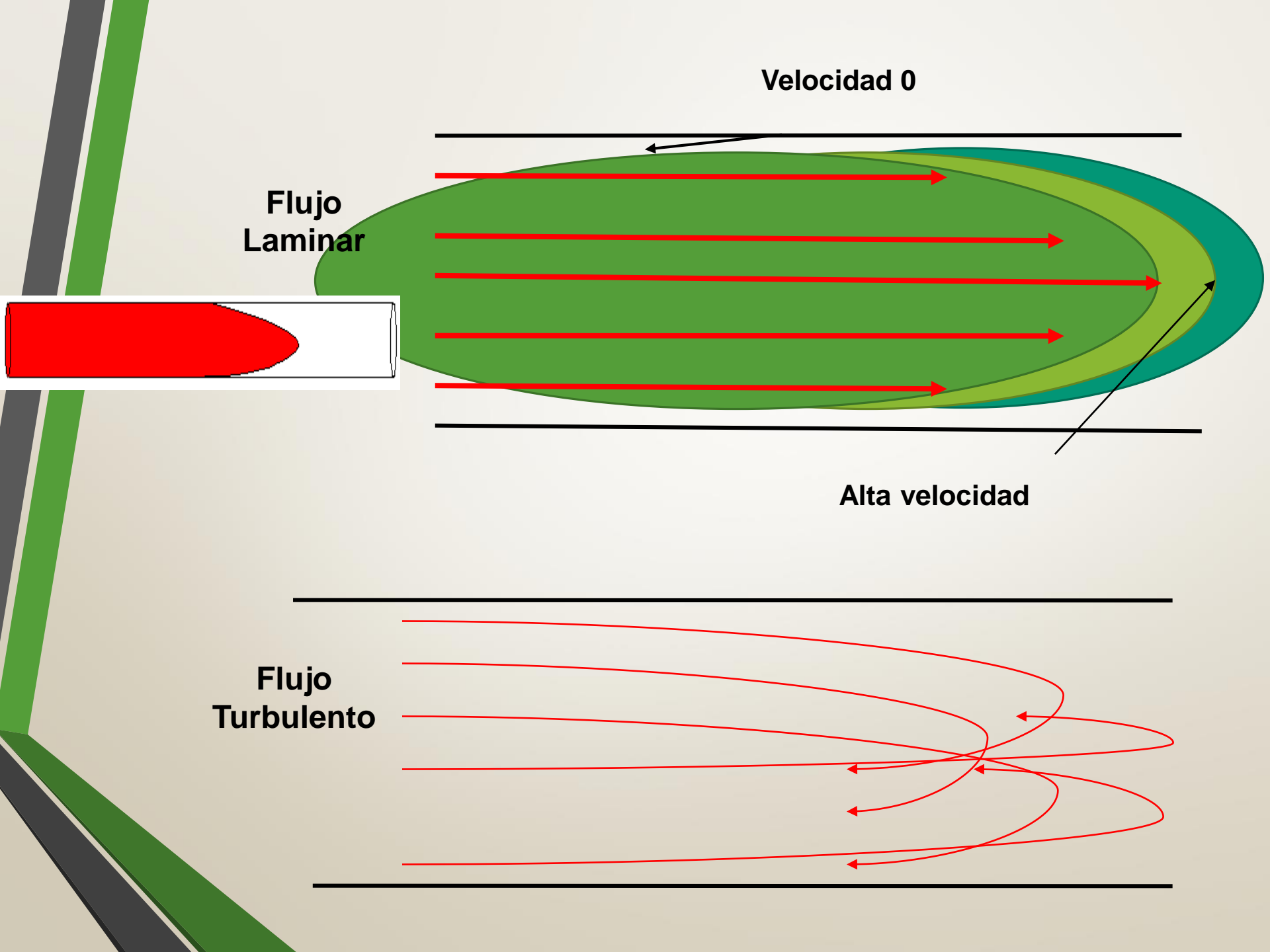
**Alta velocidad**

**Flujo  
Turbulento**









# Número de Reynolds

(Medida de la tendencia a la turbulencia)

- No Posee dimensiones

- Predice el tipo de flujo

- $N_R$  = No de Reynold

- $\rho$  = densidad de la sangre

- $d$  = diámetro del vaso sanguíneo (cm)

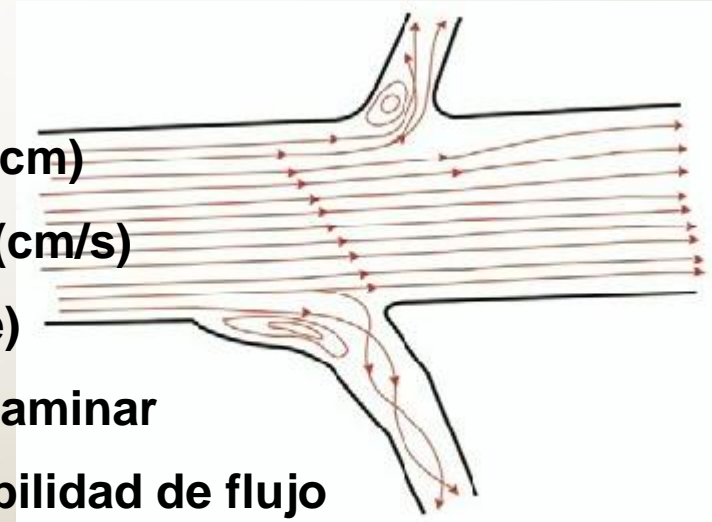
- $v$  = velocidad del flujo sanguíneo (cm/s)

- $n$  = viscosidad de la sangre (poise)

- Si el  $N_R$  es menor de 2,000 el flujo es laminar

- Si es mayor de 2,000 aumenta la posibilidad de flujo turbulento

$$N_R = \frac{\rho d v}{n}$$



# Resistencia

Es el impedimento al flujo sanguíneo en un vaso.

Se calcula a partir de la fórmula  $R = \Delta P / Q$

PRU: Unidad de resistencia periférica

PRU = 1mm Hg / 1 mL/seg

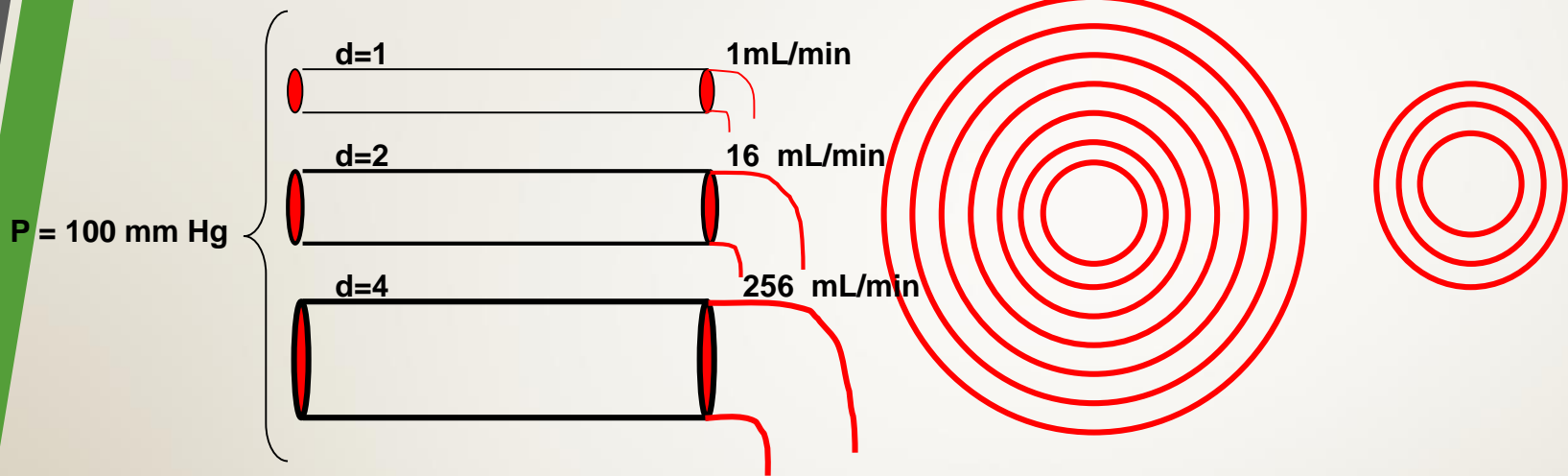
# Conductancia

Medida del flujo sanguíneo a través de un vaso para una  $\Delta P$  dada.

Se expresa en mL/seg/mm Hg

Es el inverso de la resistencia: **Conductancia = 1/ resistencia**

Depende del diámetro del vaso: **Conductancia  $\propto$  Diámetro<sup>4</sup>**



**La conductancia del vaso aumenta en proporción a la cuarta potencia del diámetro:**

**Conductancia  $\propto$  Diámetro<sup>4</sup>**

# Ley de Poiseuille:

$$F = \pi \Delta P r^4 / 8 \eta L)$$

F: flujo

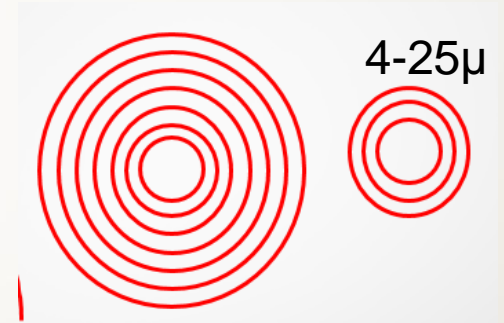
$\Delta P$ : diferencia de presión en los extremos

$\eta$ : viscosidad del líquido

r: radio del vaso

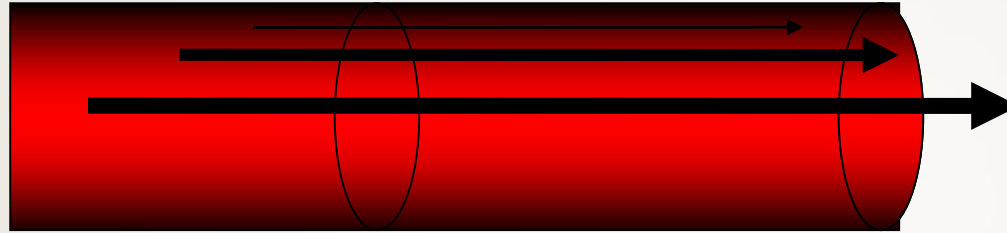
L: Longitud del vaso

En la circulación sistémica 2/3 de toda la resistencia sistémica al flujo se deben a la resistencia arteriolar .





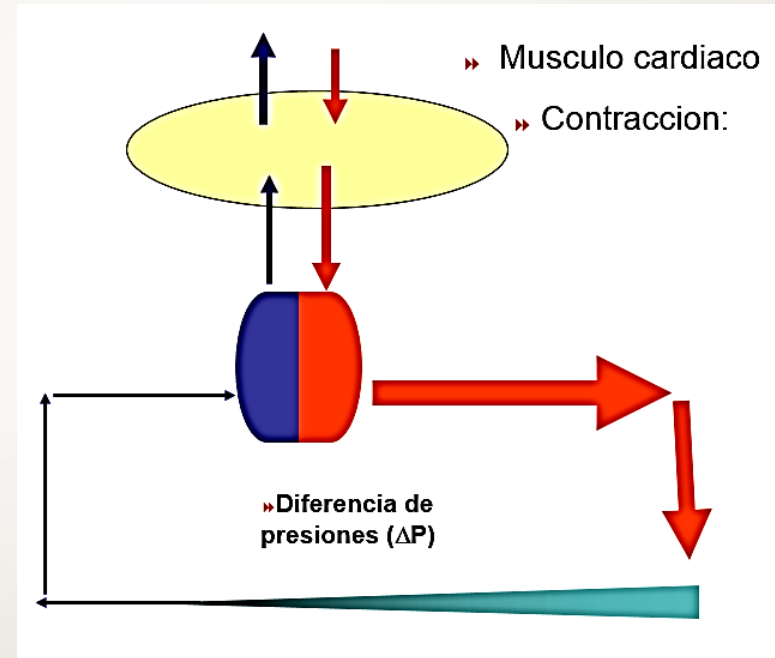
# Flujo sanguíneo



- La resistencia en una arteria de 1 cm de radio será 16 veces superior a la de una de 2 cm
- La resistencia es mayor en las arterias con menos diámetro porque el flujo es laminar, de forma que la película de sangre próxima al endotelio vascular avanza muy lentamente, la siguiente un poco más rápido y así sucesivamente, de forma que cuanto mayor calibre tienen el vaso mayor número de “capas sanguíneas” habrá y mayor será el flujo.

# Resistencia al flujo en diferentes circuitos

- La sangre fluye desde una alta presión hacia una baja presión
- En todo el trayecto hay vasos en serie y en paralelo



Arterias, arteriolas, capilares, vénulas y venas se disponen en serie:

La resistencia total al flujo es:

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \dots$$

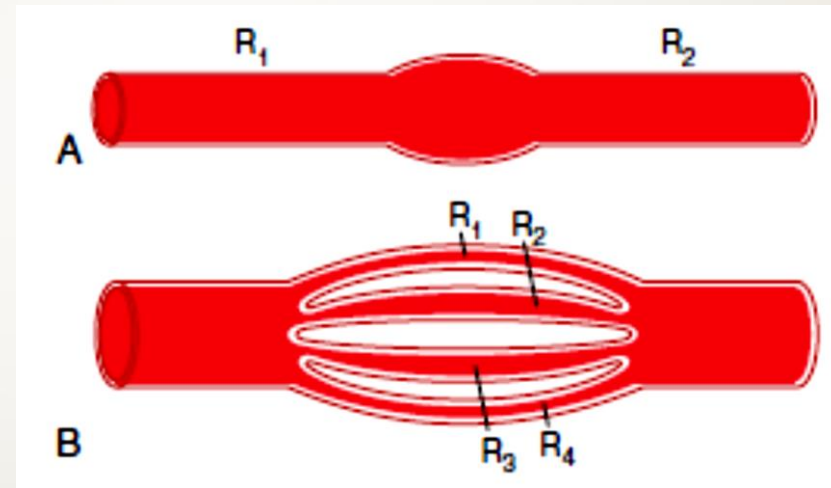
Pero los vasos se ramifican, formando circuitos en paralelo:

- Permite un control fino de irrigación en cada órgano:

$\frac{1}{R_{\text{total}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \dots$  Es evidente que la resistencia es bastante menor

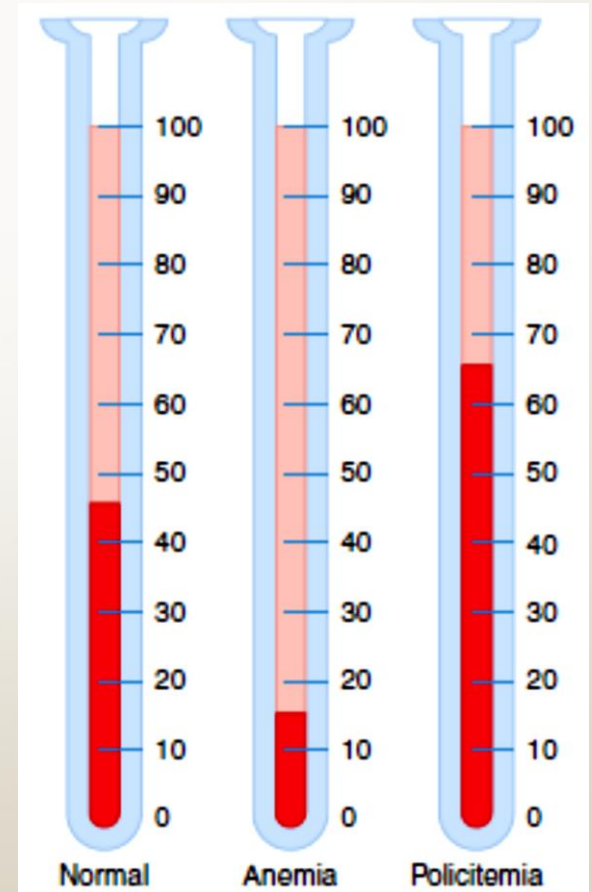
Entre más vasos, menos resistencia

Resistencias vasculares. **A**, en serie y **B**, en paralelo.



# Efecto del Hto en el flujo

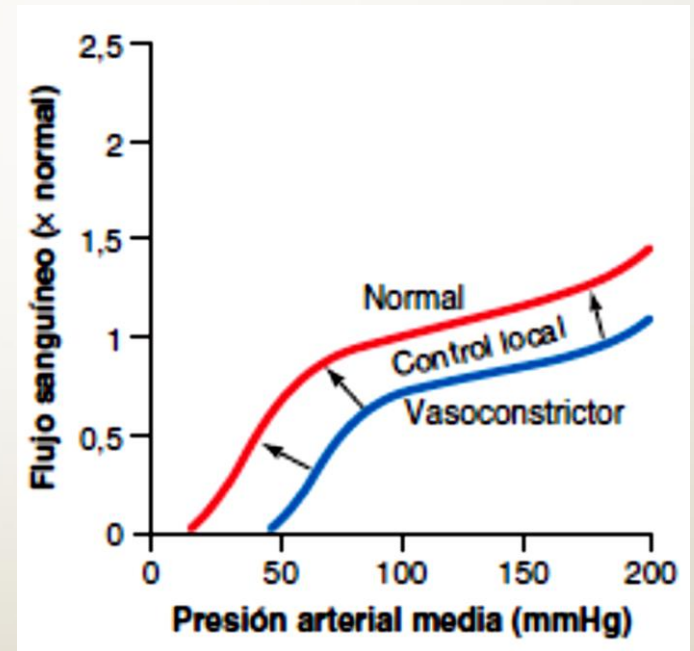
- Mayor viscosidad menor flujo.
- La viscosidad normal es: 3 veces mayor a la del agua.



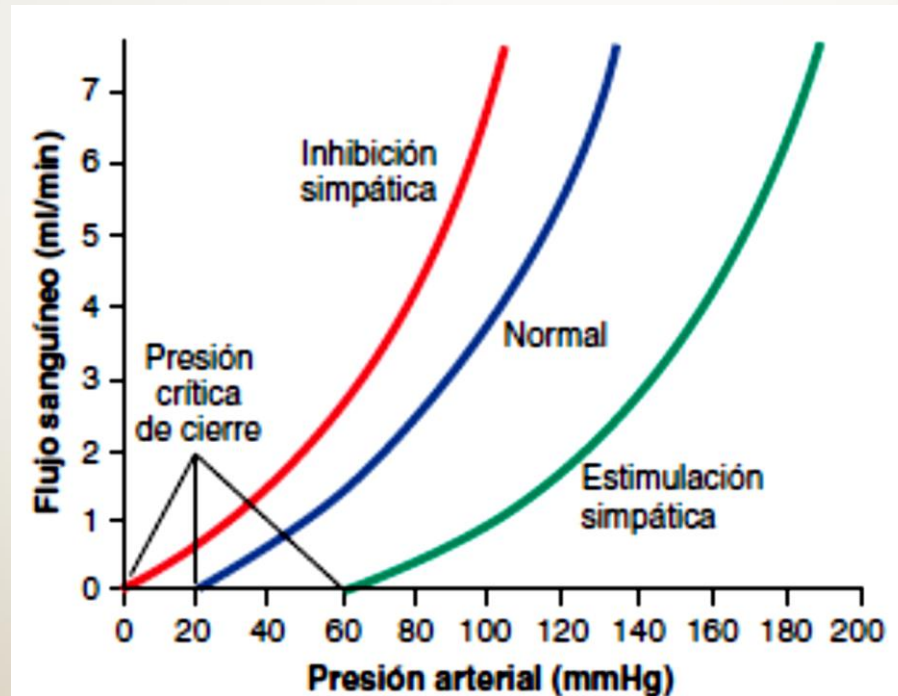
# Efecto de la PA sobre la RV y el FS

## *Atorregulación del FS:*

- Cada tejido ajusta su RV y mantiene un FS normal durante los cambios de PA entre 70 y 175 mmHg



# Efecto de la PA sobre el FS en un vaso pasivo



# Efecto de la gravedad sobre la PA

- La presión en cualquier vaso por debajo del nivel cardiaco es mayor y en cualquier vaso por arriba del nivel del corazón disminuye por efecto de la gravedad.
- La magnitud del efecto gravitacional es de  $0.77 \text{ mmHg/cm}$  de distancia vertical por arriba o abajo del corazón con una densidad de sangre normal.

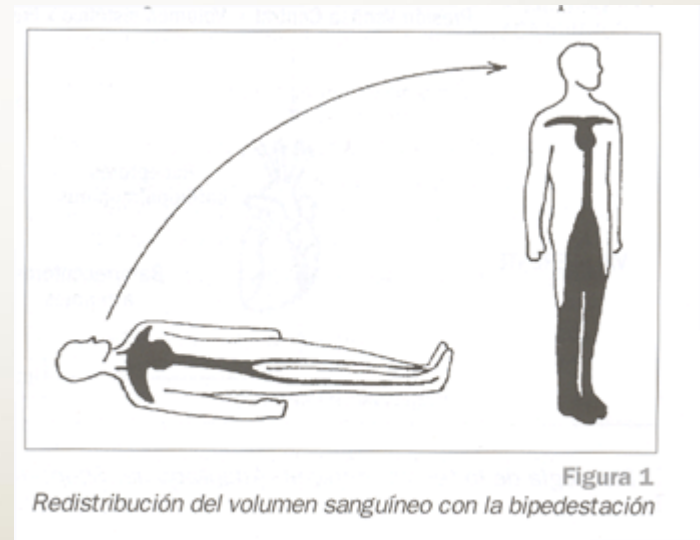
# Efecto de la gravedad sobre la PA

Ejemplo:

PAM a nivel cardiaco de 100mmHg

- La presión media en una arteria grande en la cabeza a 50 cm del corazón es de 62 mmHg ( $100 - [0.77 \times 50]$ ) y la presión en una arteria grande del pie a 105cm debajo del corazón es de 180mmHg ( $100 + [0.77 \times 105]$ ).

\*A nivel venoso es lo mismo.





# Bibliografía

- Guyton, A.C. Tratado de fisiología médica. 11<sup>a</sup> ed. México: Editorial Interamericana.
- Ganong, Kim E. Barrett. Fisiología médica. 25<sup>a</sup> ed. México: McGraw-Hill.
- Costanzo, L. Fisiología humana, México: Editorial McGraw-Hill.
- Tórtora, Grabowski. Principios de anatomía y fisiología. España; Editorial Mosby-Doyma Libros.
- Tresguerres, JAF. Fisiología humana. España: Editorial Interamericana-McGraw-Hill.