



BALANCE ENERGÉTICO EN LOS SERES VIVOS

1) Los animales pequeños comen mucha más comida por kg de masa corporal que los animales más grandes. La tasa metabólica basal (TMB) es la ingesta mínima de energía necesaria para mantener la vida en un estado de completa inactividad. La tabla enumera el BMR, masa y área de superficie de cinco animales. (a) Calcular el BMR/kg de masa corporal para cada animal. ¿Es cierto que los animales más pequeños deben consumir mucha más comida por kg de masa corporal? (b) Calcule el BMR/m² de superficie área. (c) ¿Puede explicar por qué el BMR/m² es aproximadamente el mismo para animales de diferentes tamaños? Considerar qué sucede con la energía alimentaria metabolizada por un animal en estado de reposo.

Animal	BMR (kcal/day)	Mass (kg)	Surface Area (m ²)
Mouse	3.80	0.018	0.0032
Dog	770	15	0.74
Human	2050	64	2.0
Pig	2400	130	2.3
Horse	4900	440	5.1

2)

La siguiente formula empírica se utiliza como una buena estimación para calcular el área de la superficie en los humanos.

$$A(m^2) = 0.202W^{0.425}H^{0.725}$$

Donde W es el peso de la persona en kilogramos y H es la altura de la persona en metros. La constante 0.202 que acompaña a W y H posee las unidades necesarias para que la respuesta de en m².

ACTIVIDAD	RAZON METABOLICA (Cal/m ² *h)
Dormir	35
Permanecer despierto	40
Permanecer sentado	50
Permanecer de pie	60
Caminar	140
Trabajo físico moderado	150
Montar Bicicleta	250
Correr	600
Temblar	250

Razones metabólicas promedio de algunas actividades comunes para humanos.

Ejemplo: Calcule el consumo medio de energía en el transcurso de 50min para una persona que posee una masa corporal de 75Kg y una estatura de 1.69m, que monta bicicleta. Calcule la masa requerida para que dicho consumo aumente en un 10%.

R// A partir de la estatura y de la masa corporal es posible entonces hallar el área superficial del cuerpo:

$$A(m^2) = 0.202(75Kg)^{0.425}(1.69m)^{0.725} = 1.85m^2$$

Ahora con los datos de la tabla anterior se tiene que para montar bicicleta la razón metabólica es de $250\text{Cal}/m^2\cdot h$, con lo cual al despejar E se tiene:

$$R_m = \frac{E}{At} \quad E = AR_mt = (1.85m^2)(250\text{Cal}/m^2h)(0.83h) = 385.4\text{Cal}$$

Ahora si el consumo de energía ha de aumentar en 10%, esta nueva cantidad será de 423.9Cal. Despejando el área corporal nueva

$$A = \frac{E}{R_mt} = \frac{(423.9\text{Cal})}{(250\text{Cal}/m^2h)(0.83h)} = 2.04m^2$$

Con esto ultimo es posible ahora hallar la nueva masa de la persona:

$$W = \sqrt[0.425]{\frac{A}{0.202h^{0.725}}} = \sqrt[0.425]{\frac{(2.04m^2)}{0.202(1.69m)^{0.725}}} = 94.24Kg$$

Que representa un aumento de 19.2Kg. Por esta razón las personas con elevado peso presentan consumos energéticos mas elevados que pueden ser suplidos parcialmente por sus mayores reservas de grasa corporal. Esto hace perder peso en general a cualquiera.

- 3) ¿Qué espesor de tejido graso corporal es equivalente en aislamiento a 3mm de aire?

Dato: Conductividad térmica del aire = $0.025\text{W}/m\cdot^\circ\text{C}$; Conductividad térmica del tejido graso corporal = $0.20\text{W}/m\cdot^\circ\text{C}$.

Rta.: 24mm

- 4) Un corredor de 60kg consume 300W de potencia cuando corre en una maratón. Si se supone que el 10% de la energía se entrega al tejido muscular y que el resto se elimina básicamente del cuerpo por sudor, determinar el volumen de fluido corporal (suponiendo que es agua) perdido por hora. (A 37°C el calor latente de vaporización del agua es de $2.41 \times 10^6\text{J}/kg$)

Rta.: 0,403kg

NOTA 1:

Hay que tomar en cuenta que, para el caso de transmisión del calor por convección, el material presenta cierto movimiento debido a las diferencias de temperatura. En estas circunstancias el calor cedido por unidad de tiempo por un cuerpo de temperatura T_1 a un ambiente de temperatura inferior T_2 es: $(\Delta Q / \Delta t) = h \cdot A \cdot (T_2 - T_1)$

Donde A es el área superficial del cuerpo en contacto con el ambiente circundante y h una constante que en el caso del cuerpo humano rodeado de aire es

$$h = 1,7 \times 10^{-3} (\text{Kcal/sm}^2\text{K})$$

- 5) *¿Qué cantidad de calor perderá por convección una persona desnuda de $1,5\text{m}^2$ de superficie si está en contacto con aire a 0°C y la piel está a 30°C ?*

Rta.: $7,65 \times 10^{-2} \text{ Kcal/s}$

- 6) *En una unidad de quemados de un hospital se desea mantener la temperatura de un paciente a 15°C , con objeto de disminuir la deshidratación y la posibilidad de infecciones, disminuyendo el caudal sanguíneo superficial, mientras que la temperatura interna sea de 37°C , adecuada para mantener en correcto funcionamiento los órganos internos. Para ello se piensa en mantener el cuerpo del paciente bajo convección forzada de una corriente de aire donde el coeficiente de transferencia por convección valga:*

$h = 0,75 v^{0,67}$ siendo v la velocidad del aire en m/s. ¿Para qué velocidad del aire la pérdida de calor por unidad de superficie iguala la pérdida convectiva que el cuerpo tendría si se sumergiera en agua, donde $h = 16,5 (\text{Kcal/hm}^2^\circ\text{C})$, ¿suponiendo que en ambos casos el aire y el agua están a la misma temperatura?

Rta.: 101m/s

- 7) *Una persona está trabajando a un ritmo metabólico de 400Kcal/h en un ambiente de 20°C . Suponiendo que tiene un área de piel expuesta de $1,5\text{m}^2$ y emisividad de 1.a) ¿Cuánta energía irradia por hora?*

Rta.: 137Kcal/h

- 8) *Tomando en cuenta que el área corporal de una persona adulta es de $1,8\text{m}^2$, que su temperatura promedio de la piel es de 34°C y considerando una temperatura promedio ambiente de 26°C . Dado que la radiación que emite corresponde al infrarrojo para lo cual la emisividad e se puede considerar igual a 1. Demostrar que genera aproximadamente una energía de $72,6\text{Kcal/h}$ de metabolismo basal.*

NOTA 2:

*Los científicos forenses a veces utilizan la conocida **Ley de enfriamiento de Newton** para determinar la hora de la muerte de la víctima. Asumiendo que al momento del deceso t_0 la temperatura corporal era T_c y que luego de la muerte el cuerpo se enfría a la temperatura ambiente T_{amb} . Considerando además que en $t=0$ la temperatura medida en el cadáver es T_0 y que la tasa de pérdida de calor del cuerpo (que se traduce en una disminución de la temperatura del cuerpo) es proporcional al área de la superficie corporal, A y a la diferencia de temperatura $(T - T_{amb})$; siendo la constante de proporcionalidad el denominado coeficiente de convección c . Llamando $k = c \cdot A$ resulta ser entonces la ecuación diferencial que modela este fenómeno la siguiente:*

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_{amb})$$

Cuya solución es: $T(t) = T_{amb} + (T_0 - T_{amb}) \cdot e^{-kt}$

Donde T_{amb} es la temperatura del medio circundante en el que yace el cuerpo; T_0 es la temperatura en el instante $t=0$ y k es designado como el coeficiente convectivo.

9) Un ganadero salió una tarde a cazar un lobo solitario que estaba diezmando su rebaño. El cuerpo del ganadero fue encontrado sin vida por un campesino en un cerro cerca del rancho junto al animal cazado, a las 6:00hs del día siguiente. Un médico forense llegó a las 7:00hs y tomó la temperatura del cadáver, a esa hora anotó 23°C , una hora más tarde, al darse cuenta de que en la noche y aún a esas horas, la temperatura ambiente era aproximadamente de 5°C , el médico volvió a medir la temperatura corporal del cadáver y observó que era de $18,5^{\circ}\text{C}$. Suponiendo que la temperatura ambiente se mantuvo constante en 5°C y que al momento de la muerte (cuyo instante desconocemos) la temperatura corporal era de 36°C , se pide determinar : ¿a qué hora aproximada murió el ganadero?

Rta.: 5:07hs

10)

Revise los problemas 5) y 7) de ANALISIS DIMENSIONAL Y LEYES DE ESCALA

ALGUNOS PROBLEMAS RESUELTOS



11) Se pide:

(a) Encuentre la temperatura de la piel suponiendo que 1 cm de grasa la recubre, (considere que la piel no presenta propiedades aislantes), y que 1 cm de ropa separan el núcleo del cuerpo a 37°C y el exterior a 20°C . Considere que la conductividad térmica de la grasa es: $k_g = 5 \times 10^{-4} \text{ cal/cm.s}^{\circ}\text{C}$ y la de la ropa $k_r = 6 \times 10^{-5} \text{ cal/cm.s}^{\circ}\text{C}$. (b) Encuentre la pérdida de calor por día en todo el cuerpo utilizando un área de superficie de $1,5 \text{ m}^2$. ¿Cómo se compara esto con el BMR? (c) Repetir el problema considerando que la persona se encuentra desnuda.

Nota: Los valores consignados en las tablas 11.1 y 11.2 para el gasto de energía se dan en Cal/m^2 o Kcal/m^2 y $\text{Cal/m}^2\text{h}$ o $\text{Kcal/m}^2\text{h}$ (Donde: $1\text{Cal}=1\text{Kcal}=1000\text{cal}=4186\text{J}$)

TABLE 11.2 ► One Day's Metabolic Energy Expenditure

Activity	Energy expenditure (Cal/m^2)
8 hr sleeping ($35 \text{ Cal/m}^2\text{-hr}$)	280
8 hr moderate physical labor ($150 \text{ Cal/m}^2\text{-hr}$)	1200
4 hr reading, writing, TV watching ($60 \text{ Cal/m}^2\text{-hr}$)	240
1 hr heavy exercise ($300 \text{ Cal/m}^2\text{-hr}$)	300
3 hr dressing, eating ($100 \text{ Cal/m}^2\text{-hr}$)	300
Total expenditure	2320

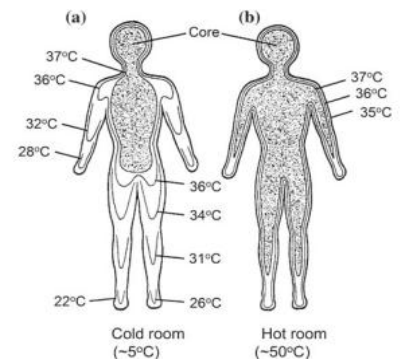
TABLE 11.1 ► Metabolic Rates for Selected Activities

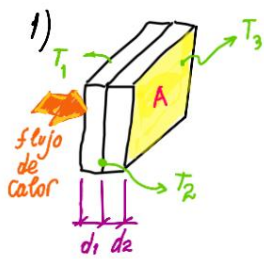
Activity	Metabolic rate ($\text{Cal/m}^2\text{-hr}$)
Sleeping	35
Lying awake	40
Sitting upright	50
Standing	60
Walking (3 mph)	140
Moderate physical work	150
Bicycling	250
Running	600
Shivering	250

Table 6.45 Core temperatures within the human body

Body region	Normal temperature ($^{\circ}\text{C}$)
Skin	32–35
Scrotum	34.0
Liver	36.4–36.8
Oral cavity	36.5–36.6
Superior vena cava	36.65
Esophagus, lungs	36.75
Heart (right ventricle)	36.75
Aorta, inferior vena cava	36.75
Pulmonary artery and vein	36.75
Kidney	36.85
Spinal cord	36.95
Stomach, rectum (mean)	37.0
Rectum (range)	36.2–37.8
Brain, uterus	37.3

Fig. 6.25 Temperature in the body in cold and hot environments (From [38]. Courtesy of Robert A. Freitas Jr., Nanomedicine, Vol. 1 (1999), <http://www.nanomedicine.com>)





$$T_1 = 37^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 20^\circ\text{C}$$

$$T_2 = ?$$

$$K_1 = 5 \times 10^{-4} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$K_2 = 6 \times 10^{-5} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$A = 1,5 \text{ m}^2 = 15000 \text{ cm}^2$$

$$P = K \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

$$R = \frac{d}{K \cdot A}$$

$$\Delta T = P \cdot \sum_{j=1}^2 R_j$$

Reemplazando por los datos

$$R_1 = \frac{d_1}{K_1 \cdot A} = \frac{1 \text{ cm}}{5 \times 10^{-4} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 15000 \text{ cm}^2} = 0,13 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cal}}$$

$$R_2 = 1,11 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cal}}$$

$$\text{Si } \Delta T = P \cdot \sum_{j=1}^2 R_j$$

$$(37^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = P \cdot \left[0,13 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cal}} + 1,11 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cal}} \right] \Rightarrow P = 13,66 \frac{\text{cal}}{\text{s}} !$$

Para obtener la temperatura de la piel ahora con el valor de P conocido resulta para el primer espesor:

$$P = K \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

$$13,66 \frac{\text{cal}}{\text{s}} = 5 \times 10^{-4} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 15000 \text{ cm}^2 \cdot \frac{\Delta T}{1 \text{ cm}} \rightarrow \Delta T = 1,82^\circ\text{C} \Rightarrow \text{Como } \Delta T = T_{\text{core}} - T_{\text{piel}} \Rightarrow T_{\text{piel}} = 37^\circ\text{C} - 1,82^\circ\text{C} = 35,18^\circ\text{C}$$

$$\text{luego a) } T_{\text{piel}} = 35,18^\circ\text{C} !$$

$$\text{Dado que } 1 \text{ día} = 86400 \text{ s} \rightarrow \frac{1}{86400} \text{ día} = 1 \text{ s}$$

$$\text{Entonces si } P = 13,66 \frac{\text{cal}}{\text{s}} = 13,66 \frac{\text{cal}}{\frac{1}{86400} \text{ día}} = 1180799,4 \frac{\text{cal}}{\text{día}} \approx 1181 \frac{\text{cal}}{\text{día}}$$

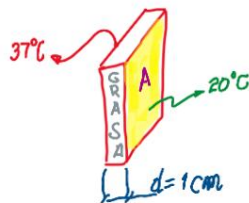
$$1 \text{ Cal} = 1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal}$$

$$\text{b) } P \approx 787 \frac{\text{cal}}{\text{día} \cdot \text{m}^2}$$

dividiendo por el área de la sup. corporal $A = 1,5 \text{ m}^2$

Siendo $787 \frac{\text{cal}}{\text{día} \cdot \text{m}^2} = \frac{787 \text{ cal}}{24 \text{ h} \cdot \text{m}^2} \approx 33 \frac{\text{cal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$ valor que es muy próximo al BMR correspondiente a la actividad de DORMIR según Tabla 11.1

Si ahora la persona se encuentra desnuda resulta:



$$P = K \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} = 5 \times 10^{-4} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 15000 \text{ cm}^2 \cdot \frac{\Delta T}{1 \text{ cm}}$$

$$P = 7,5 \frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \Delta T$$

$$\text{siendo } R = \frac{d}{K \cdot A} = \frac{1 \text{ cm}}{5 \times 10^{-4} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 15000 \text{ cm}^2}$$

$$R = 0,13 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cal}}$$

$$\text{Pero } \frac{\Delta T}{R} = P \rightarrow \frac{(37^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}{0,13 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cal}}} = 127,5 \frac{\text{cal}}{\text{s}}$$

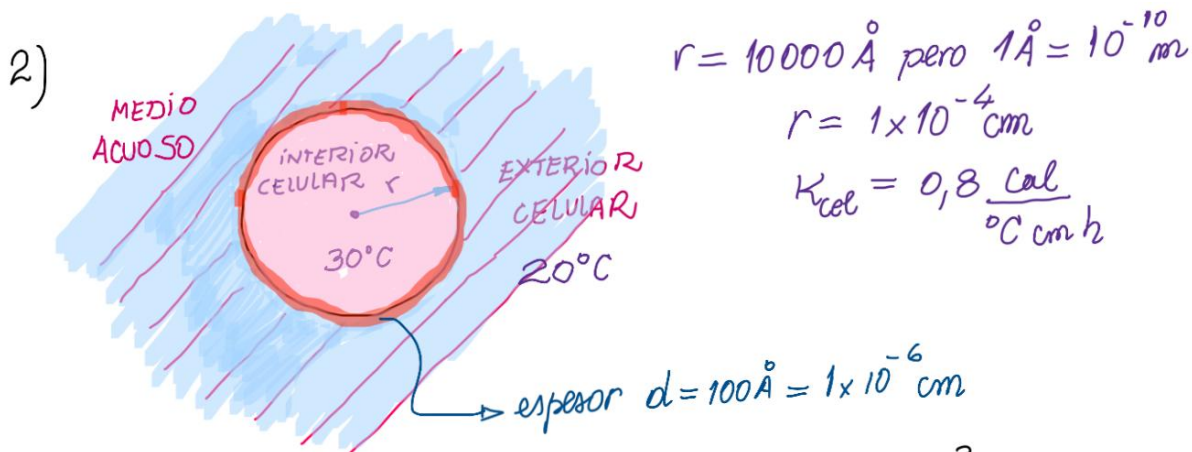
$$\text{Entonces: } P = 127,5 \frac{\text{cal}}{\text{s}} = 127,5 \frac{\text{cal}}{\frac{1}{86400} \text{ día}} = 11016000 \frac{\text{cal}}{\text{día}} = 11016 \frac{\text{cal}}{\text{día}} = 7344 \frac{\text{cal}}{\text{m}^2 \cdot \text{día}}$$

1 Cal = 1000 cal
dividiendo por $1,5 \text{ m}^2$

$$\text{c) } P = 7344 \frac{\text{cal}}{\text{m}^2 \cdot \text{día}} \approx 306 \frac{\text{cal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

Valor que supera en casi 10 veces el BMR para una actividad como dormir según Tabla 11.1

- 12) En el interior de una célula esférica en reposo de $10000\text{\AA}$ de radio se producen reacciones metabólicas que producen una energía de $1,7\text{ cal/h}$. La célula está en un medio acuoso a 20°C y su temperatura se ha de mantener constante a 30°C . ¿Cuál será la máxima potencia que puede desarrollar la célula si la conductividad térmica celular es de $0,80\text{ cal/}^\circ\text{C cm h}$. Siendo el espesor de la membrana $100\text{\AA}$?



El área de la superficie celular es $A = 4\pi r^2$
 $A = 1,2566 \times 10^{-7}\text{ cm}^2$

$$P = K \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} = 0,8 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C cm h}} \cdot 1,2566 \times 10^{-7}\text{ cm}^2 \cdot \frac{(30^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}{1 \times 10^{-6}\text{ cm}}$$

$$P = 1,00528 \frac{\text{cal}}{\text{h}}$$

se transmite al exterior por Cond.

En el interior se producen

$$1,7 \frac{\text{cal}}{\text{h}}$$

y se transfieren al exterior celular

$$1 \frac{\text{cal}}{\text{h}} \text{ queolando}$$

como mucho

$$\text{disponibles } 0,7 \frac{\text{cal}}{\text{h}}$$

$$Pot_{\text{MAX}} = 1,7 \frac{\text{cal}}{\text{h}} - 1 \frac{\text{cal}}{\text{h}}$$

$$Pot_{\text{MAX}} = 0,7 \frac{\text{cal}}{\text{h}}$$

- 13) Una persona está trabajando a un ritmo metabólico de 400 kcal/h en un ambiente a 20°C . Suponga estatura de $1,80\text{ m}$ y peso 90 kg y emisividad 1; a) ¿Cuánta energía irradia por hora?
 b) ¿cuánto sudor debe evaporar en una hora para equilibrar su temperatura? (Calor de vaporización del sudor $\cong 580\text{ kcal/kg}$)

$$3) P_{\text{radiada}} = \sigma \cdot e \cdot A \cdot (T_2^4 - T_1^4)$$

Para obtener el área del cuerpo de la persona empleamos la expresión obtenida a partir de las leyes de escala

$$A = 0,202 (90\text{ kg})^{0,725} \cdot (1,80\text{ m})^{0,725} = 2,094\text{ m}^2$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}^4} ; T_2 = 37^\circ\text{C} + 273 = 310\text{ K}$$

$$T_1 = 20^\circ\text{C} + 273 = 293\text{ K}$$

$$(T_2^4 - T_1^4) = 1865159199\text{ K}^4 ; e = 1 \text{ (emisividad)}$$

$$\Rightarrow P_{\text{radiada}} = 221,45\text{ W} = 221,45 \frac{\text{J}}{\text{s}} \text{ energía irradiada en cada segundo}$$

$$\text{Si } 1h = 3600s \Rightarrow 1s = \frac{1}{3600}h$$

$$\text{Luego } 221,45 \frac{J}{s} = 221,45 \frac{J}{\frac{1}{3600}h} = 797220 \frac{J}{h} = 797,2 \frac{KJ}{h}$$

$$1Kcal = 4,186 KJ \Rightarrow 0,2389 Kcal = 1 KJ$$

$$a) \text{ Radiada} = 797,2 \frac{KJ}{h} = 190,4 \frac{Kcal}{h}$$

La persona trabaja a ritmo metabólico de $400 \frac{Kcal}{h}$ e irradia por hora $190,4 \frac{Kcal}{h} \Rightarrow \text{Emplea } [400 \frac{Kcal}{h} - 190,4 \frac{Kcal}{h}] = 209,56 \frac{Kcal}{h}$ para evaporar sudor:

$$209,56 \frac{Kcal}{h} = 580 \frac{Kcal}{Kg} \cdot M \Rightarrow \frac{209,56 \frac{Kcal}{h}}{580 \frac{Kcal}{Kg}} = 0,361 \frac{Kg}{h}$$

Se evaporan 361 gramos de sudor por hora.

14)

Parte del calor metabólico en climas fríos se usa para calentar el aire inspirado. Considerar condiciones respiratorias de actividad mínima (11 inspiraciones/minuto y 0,5 litros de aire en cada inspiración). Se pide calcular la pérdida del calor por respiración si la temperatura exterior es de $-20^{\circ}C$. **Dato:** calor específico del aire $C_p = 0,24 Kcal/Kg^{\circ}C$.

4) Se emplea la ecuación fundamental de la calorimetría:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \underbrace{11 \frac{\text{inspiraciones}}{\text{minuto}} \cdot 0,5 \frac{\text{litros de aire}}{\text{inspiración}}}_{M} \cdot \underbrace{0,24 \frac{Kcal}{Kg \cdot ^{\circ}C}}_{C_e} \cdot \underbrace{[(36,4^{\circ}C) - (-20^{\circ}C)]}_{\Delta T}$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = 74,45 \frac{\text{litros de aire}}{\text{minuto}} \cdot \frac{Kcal}{Kg}$$

Dado que la densidad del aire es $0,0012 \frac{Kg}{\text{litro}}$

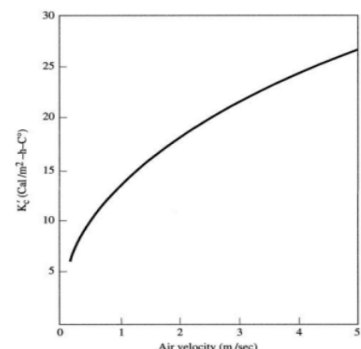
$$74,45 \frac{\text{lt} \cdot Kcal}{\text{min} \cdot Kg} \cdot 0,0012 \frac{Kg}{\text{lt}} = 0,0893 \frac{Kcal}{\text{min}}$$

$$\boxed{\frac{\Delta Q}{\Delta t} = 0,0893 \frac{Kcal}{\text{min}}} \quad \text{Pérdida de calor por minuto}$$

Temperatura de la cavidad bucal. TABLA 6.45

15)

Se conoce que el coeficiente de convección inicialmente aumenta bruscamente con la velocidad del viento, y luego el aumento se vuelve menos pronunciado. Calcule la pérdida de calor por metro cuadrado de superficie de la piel a $-40^{\circ}C$ en viento moderado (unos $0,5 m/sec$). Asumir que la temperatura de la piel es de $26^{\circ}C$.



5) A partir del gráfico $k_c = 10 \frac{\text{cal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$ [coeficiente de convección correspondiente a una rapidez del aire de $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$]

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k_c \cdot A \cdot (T_2 - T_1) \Rightarrow \left(\frac{\Delta Q}{A \cdot \Delta t} \right) = k_c \cdot (T_2 - T_1) = 10 \frac{\text{cal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 66^\circ\text{C}$$

$$\left(\frac{\Delta Q}{A \cdot \Delta t} \right) = 660 \frac{\text{cal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \quad \text{Pérdida de calor por metro cuadrado de la superficie de la piel}$$

PROBLEMAS PROPUESTOS PARA PROFUNDIZAR

16)

Acerca de la regulación de la temperatura en el cuerpo humano: Mediante la ley de Stefan Boltzmann estimar la energía disipada por radiación del calor.

Rta.: 69Kcal/h

Compare con los valores consignados por las tablas del ejercicio 11. ☀

17)

Investigue acerca del efecto invernadero y el clima de la tierra, la convección en los mares y cielos australes.

Ref. Bibliográfica: GRUNFELD, V. El caballo esférico. BsAs, Lugar, 1991

FLUIDOS EN BIOFÍSICA

18) Cuando una enfermera toma la presión sanguínea de un paciente lee una presión sistólica de 140mm de mercurio y una diastólica de 80mm de mercurio. Se pide: **i)** Explique brevemente los términos sistólico y diastólico; **ii)** Demuestre que la lectura de una presión sanguínea de 80mm de mercurio es equivalente a 11kPa. Tomar en cuenta que $g=10\text{m/s}^2$ y que la densidad del Hg $\rho = 1,36 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$; **iii)** Explicar por qué para la toma de la presión sanguínea se lo debe hacer en la parte superior del brazo; **iv)** Si la altura del paciente es de 1,8 m y su lectura de presión arterial sistólica en la parte superior del brazo es de 140 mm, calcule la lectura de la presión arterial si se tomara en el tobillo del paciente mientras estaba de pie.

19) Plasma sanguíneo fluye desde una bolsa a través de un tubo hasta la vena de un paciente, en un punto en que la presión de la sangre es de 12 mmHg. La densidad relativa del plasma a 37°C es de 1,03. ¿Cuál es la altura mínima a la que deberá estar la bolsa para que la presión del plasma cuando se introduce en la vena sea al menos de 12 mmHg? **Rta.:** 15,8 cm.

20) Con un intenso esfuerzo de succión, la presión en la cavidad bucal puede ser de 80 mmHg inferior a la presión atmosférica. ¿Cuál sería la altura máxima a la que podría ser sorbida el agua con una pajita?

21) Una jeringuilla hipodérmica tiene una sección transversal de $2,0 \text{ cm}^2$ y la aguja una sección de $0,50 \text{ mm}^2$. ¿Qué fuerza mínima debe ejercerse sobre el émbolo de la jeringuilla para inyectar fluido en una vena en la que la presión manométrica es 10 mmHg? **Rta.:** 0,27 N

22) En una jirafa erguida la altura desde el corazón hasta el cerebro es 2,50 m. La sangre procedente del corazón debe entrar en su cerebro con una presión manométrica de 50,0 mmHg. ¿Cuál es a) la presión manométrica de la sangre a la salida del corazón, b) la presión absoluta en ese punto?

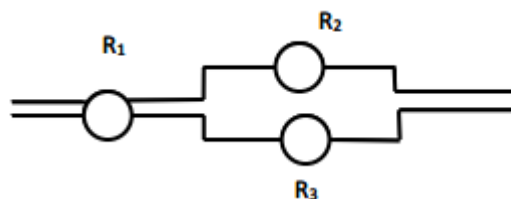
Rta.: a) 245 mmHg b) 1.005 mmHg = 1,32 atm

23) Se realiza una transfusión de sangre colocando el frasco a una altura de 60 cm sobre el brazo del paciente en el que se inyecta la sangre. La aguja tiene un radio interior de 0,20 mm y una longitud de 6 cm. La sangre se inyecta a un ritmo de 1,68 cm³ /min. Calcular la viscosidad de la sangre, sabiendo que su densidad es 1020 kg/m³ y suponiendo que la presión manométrica en el interior de la vena es cero.

Rta.: $\eta = 2,2 \times 10^{-3} \text{ PI}$

24) En el sistema de la figura R1, R2 y R3 representan las resistencias periféricas de una porción del sistema circulatorio, siendo R1 = 1 URP, R2 = 4 URP y R3 = 4/3 URP. Si el caudal que circula por R1 es $Q_1 = 5 \text{ cm}^3 / \text{s}$, calcular la diferencia de presión entre los extremos del sistema y el caudal que circula por R3.

Rta.: 3,75 cm³ /s; 10 mmHg.



25) Responder con fundamento:

A) Si la presión manométrica sanguínea en la vena es de 18mmHg; ¿qué tan alto debe estar la botella de suero?

B) Un colesterol alto en la sangre favorece la formación de depósitos grasos, llamados placas, en las paredes de los vasos sanguíneos. Suponga que una placa reduce el radio efectivo de una arteria en un 17%. ¿Cómo afectará este bloqueo parcial a la rapidez con que la sangre fluye por la arteria?

26) Se pide:

a) Demostrar que, si la diferencia de presión se mantiene constante, la reducción del radio de la arteriola de 0,1 a 0,08 mm disminuye el flujo sanguíneo en poco más de un 50%.

b) Calcular la disminución del radio requerido para reducir el flujo sanguíneo en un 90%.

Rta.: b) disminuye un 44%

27) Calcular la diferencia de presión por centímetro de longitud de la aorta cuando la tasa de flujo sanguíneo es de 25 litros / min. El radio de la aorta es de aproximadamente 1 cm, y el coeficiente de viscosidad de la sangre es de 4×10^{-2} poise. **NOTA:** 1 poise (p) [= dina. s/cm²]=0,1 poiseuille]

Rta.: $3,19 \times 10^{-2} \text{ Torr/cm}$

28) Cuando la tasa de flujo sanguíneo en la aorta es de 5 litros/min, la velocidad de la sangre en los capilares es de aproximadamente 0,33 mm/seg. si el diámetro promedio de un capilar es 0,008 mm, calcule el número de capilares en el sistema circulatorio.

Rta.: $7,1 \times 10^4$ capilares

29) La savia fluye hacia la parte superior de un árbol a una velocidad 1mm/s a través de su sistema vascular que consta de poros cilíndricos de 20μm de radio. Considere que la viscosidad de la savia es la misma que la del agua. ¿qué diferencia de presión entre la parte inferior y la superior de un árbol de 100m de altura es necesaria para generar este flujo? **Rta.: $\Delta p = 2 \times 10^6 \text{ Pa}$**

30) Se pide:

a) Calcular la presión arterial en la cabeza de una persona erecta.

Suponga que la cabeza está a 50 cm por encima del corazón. (La densidad de la sangre es de 1,05 g/cm³.)

b) Calcular la presión arterial media en las piernas de una persona erecta, 130 cm por debajo del corazón

NOTA: 1Torr = 1 mmHg = 1,33x10² (N/m²)

Rta.: $p_{\text{cabeza}} = 61 \text{ Torr}$; $p_{\text{pies}} = 203 \text{ Torr}$

31)

Revisa el problema 10 de análisis dimensional y leyes de escala acerca de la velocidad de circulación sanguínea y su dependencia de parámetros fisiológicos

32) ALGUNOS PROBLEMAS RESUELTOS

a) Estimar el número de Reynolds para el flujo de sangre en un capilar usando la tabla 1.4. Compare con el de la aorta.

b) Se conoce que el volumen de la sangre en una persona adulta es típicamente de 5 litros y el flujo de sangre a través de la aorta es aproximadamente de 5 litros/minuto. Se pide indicar el flujo total de sangre a través de todo el sistema de capilares y establecer cuanto le toma a la sangre hacer un recorrido completo a través del sistema circulatorio.

TABLE 1.4. Typical values for the average pressure at the entrance to each generation of the major branches of the cardiovascular tree, the average blood volume in certain branches, and typical dimensions of the vessels.

Location	Average pressure (torr)	Blood volume ^a (ml)	Diameter ^b (mm)	Length ^b (mm)	Wall thickness ^b (mm)	Avg. velocity ^b (m s ⁻¹)	Reynolds number at maximum flow ^c
Systemic circulation							
Left atrium	5						
Left ventricle	100						
Aorta	100	156	20	500	2.00	4.80×10^{-1}	9 400
Arteries	95	608	4	500	1.00	4.50×10^{-1}	1 300
Arterioles	86	94	0.05	10	0.2	5.00×10^{-2}	
Capillaries	30	260	0.008	1	0.001	1.00×10^{-3}	
Venules	10	470	0.02	2	0.002	2.00×10^{-3}	
Veins	4	2682	5	25	0.5	1.00×10^{-2}	
Vena cava	3	125	30	500	1.5	3.80×10^{-1}	3 000
Right atrium	3						
Pulmonary Circulation							
Right atrium	3						
Right ventricle	25						
Pulmonary artery	25	52					
Arteries	20	91					7 800
Arterioles	15	6					
Capillaries	10	104					
Veins	5	215					2 200
Left atrium	5						

^aFrom R. Plonsey (1995). Physiologic Systems. In J. R. Bronzino, ed. *The Biomedical Engineering Handbook*, Boca Raton, CRC Press, pp. 9–10.

^bFrom J. N. Mazumdar (1992). *Biofluid Mechanics*. Singapore, World Scientific, p. 38.

^cFrom W. R. Milnor (1989). *Hemodynamics*, 2nd. ed. Baltimore, Williams & Wilkins, p. 148.

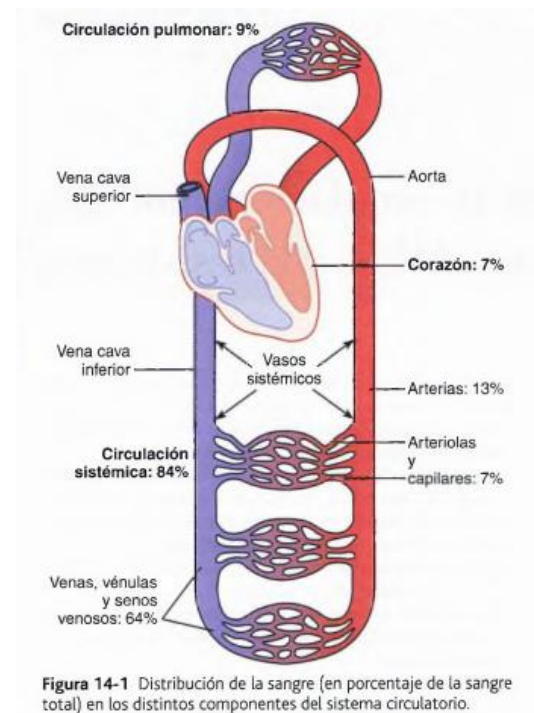


Figura 14-1 Distribución de la sangre (en porcentaje de la sangre total) en los distintos componentes del sistema circulatorio.

- 1) a) Estimar el número de Reynolds para el flujo de sangre en un capilar usando la tabla 1.4. Compare con el de la aorta.
 b) Se conoce que el volumen de la sangre en una persona adulta es típicamente de 5 litros y el flujo de sangre a través de la aorta es aproximadamente de 5 litros/minuto. Se pide indicar el flujo total de sangre a través de todo el sistema de capilares y establecer cuanto le toma a la sangre hacer un recorrido completo a través del sistema circulatorio.

TABLE 1.4. Typical values for the average pressure at the entrance to each generation of the major branches of the cardiovascular tree, the average blood volume in certain branches, and typical dimensions of the vessels.

Location	Average pressure (torr)	Blood volume ^a (ml)	Diameter ^b (mm)	Length ^b (mm)	Wall thickness ^b (mm)	Avg. velocity ^b (m s ⁻¹)	Reynolds number at maximum flow ^c
Systemic circulation							
Left atrium	5						
Left ventricle	100						
Aorta	100	156	20	500	2.00	4.80×10^{-1}	9 400
Arteries	95	698	4	500	1.00	4.50×10^{-1}	1 300
Arterioles	86	94	0.05	10	0.2	5.00×10^{-2}	
Capillaries	30	260	0.008	1	0.001	1.00×10^{-3}	
Venules	10	470	0.02	2	0.002	2.00×10^{-3}	
Veins	4	2682	5	25	0.5	1.00×10^{-2}	
Vena cava	3	125	30	500	1.5	3.80×10^{-1}	3 000
Right atrium	3						
Pulmonary Circulation							
Right atrium	3						
Right ventricle	25						
Pulmonary artery	25	52					7 800
Arteries	20	91					
Arterioles	15	6					
Capillaries	10	104					
Veins	5	215					2 200
Left atrium	5						

^aFrom R. Flourey (1955). Physiologic Systems. In J. R. Brumaine, ed. *The Biomedical Engineering Handbook*, Boca Raton, CRC Press, pp. 9-10.

^bFrom J. N. Maclelland (1992). *Biofluid Mechanics*. Singapore, World Scientific, p. 38.

^cFrom W. R. Milnor (1989). *Hemodynamics*, 2nd. ed. Baltimore, Williams & Wilkins, p. 148.

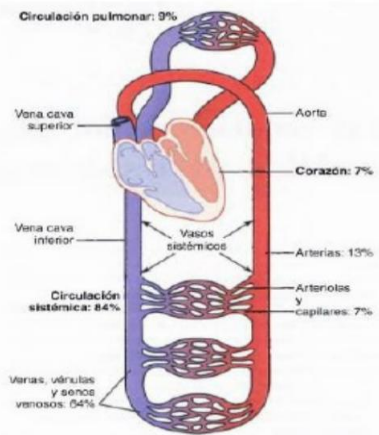


Figura 14-1 Distribución de la sangre (en porcentaje de la sangre total) en los distintos componentes del sistema circulatorio.

$$\rho_{\text{SANGRE}} = 1020 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\eta_{\text{SANGRE}} = 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$a) Re_{\text{CAPILARES}} = \frac{l \cdot \bar{v} \rho}{\eta} = 1,02 \ll 9400 = Re_{\text{AORTA}}$$

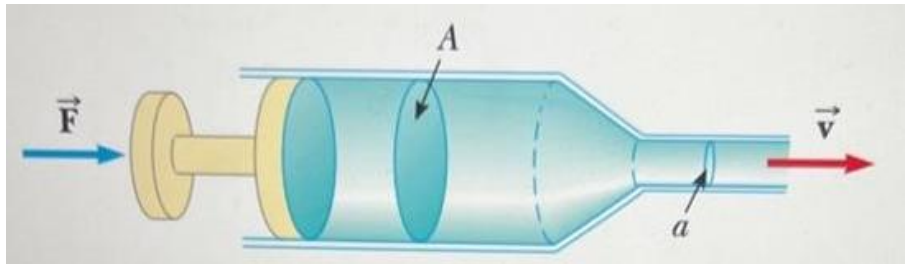
Efectos tales como la turbulencia pueden ocurrir solo con un número de Reynolds tan alto como el de la aorta. Esto es posible en la aorta pero no en los capilares.

$$b) Q_{\text{AORTA}} = Q_{\text{CAPILARES}} = \frac{5 \text{ litros}}{\text{minuto}} \quad (\text{se conserva el flujo})$$

$$\frac{\text{VOLUMEN DE SANGRE}}{\text{FLUJO}} = \frac{5 \text{ litros}}{5 \text{ litros/minuto}} = 1 \text{ minuto}$$

33)

Una jeringa hipodérmica contiene un medicamento cuya densidad es igual a la del agua. El barril de la jeringa tiene un área de sección transversal de $2,2 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ y la aguja tiene un calibre de 3mm. En ausencia de una fuerza sobre el émbolo, la presión en todas partes es de 1 atmósfera. Una fuerza de 2N de magnitud actúa sobre el émbolo, lo que hace que el medicamento salga por la aguja. Se pide determinar la rapidez del medicamento por la aguja. Suponga comportamiento ideal para el fluido y que la presión en la aguja continua a 1 atm y que la jeringa está en posición horizontal.



$$2) \rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$A_1 = 2,2 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\phi_2 = 0,003 \text{ m} \Rightarrow A_2 = \frac{\pi \phi_2^2}{4} = 7,07 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$p_2 = 1 \text{ atm} = 101292,8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$p_1 = 1 \text{ atm} + \frac{2 \text{ N}}{2,2 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 192201,9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

se ejerce una sobrepresión por encima de 1 atm con la fuerza de 2N aplicada al émbolo

Empleando la ec. de Continuidad:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\text{entonces } v_1 = \frac{A_2}{A_1} v_2 = 0,32 \cdot v_2 \quad (1)$$

Dado que el fluido tiene un comportamiento ideal, entonces vale aplicar Bernoulli:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Como la jeringa está en disposición horizontal $h_1 = h_2$ entonces se reduce a:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \Rightarrow v_2 = 14,2 \text{ m/s} \quad (1)$$

34)

La savia fluye en un árbol hacia arriba a una rapidez de 1mm/s a través de su sistema vascular (xilema) el cual consiste en poros cilíndricos de $20\mu\text{m}$ de radio. Asumir que la viscosidad de la savia es la misma que la del agua. Se pide: a) Determinar la diferencia de presión entre la base y la parte superior del árbol de 100m de alto necesaria para generar este flujo; b) compare con la diferencia de presión hidrostática causada por gravedad.

- 3) La savia fluye en un árbol hacia arriba a una rapidez de 1mm/s a través de su sistema vascular (xilema) el cual consiste en poros cilíndricos de $20\mu\text{m}$ de radio. Asumir que la viscosidad de la savia es la misma que la del agua. Se pide: a) Determinar la diferencia de presión entre la base y la parte superior del árbol de 100m de alto necesaria para generar este flujo; b) compare con la diferencia de presión hidrostática causada por gravedad.

(Ley de Poiseuille) $Q = \frac{\Delta p \cdot \pi \cdot R^4}{8 \eta l}$ (1) ; $\bar{v} = \frac{Q}{\pi R^2}$ (2)

de (1) y (2)

$$\Delta p = \frac{8 \cdot \eta \cdot \bar{v} \cdot l}{R^2} = \frac{100 \text{ m} \cdot 8 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1} \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{(20 \times 10^{-6} \text{ m})^2}$$

a)

$$\Delta p = 2 \times 10^6 \text{ Pa} \approx 20 \text{ atm}$$

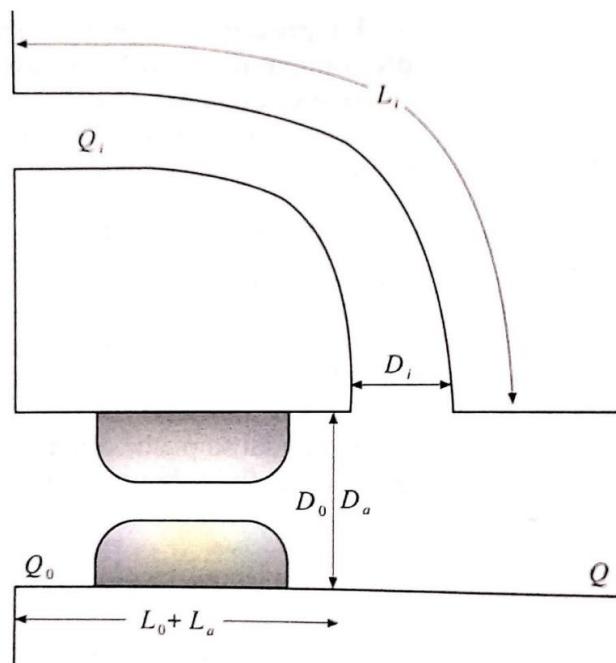
b)

$$\Delta p_{\text{grav}} = \rho g h = 10^3 \text{ kg m}^{-3} \cdot 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 100 \text{ m} = 980000 \text{ Pa} \approx 10 \text{ atm}$$

35)

EL BYPASS CORONARIO, (UNA TÉCNICA PERFECCIONADA POR UN MÉDICO ARGENTINO)

Las obstrucciones arterioescleróticas de las arterias coronarias causan la reducción del flujo sanguíneo y, por lo tanto, la disminución de la cantidad de oxígeno que llega a algunas células del músculo cardíaco. La insuficiencia de oxígeno provoca la muerte de algunas células. Si el área afectada es grande, el corazón se ve afectado en su conjunto y se produce un infarto de miocardio. Para soslayar este problema, la cirugía evita las obstrucciones mediante el injerto de un trozo de vena en la aorta (ver figura), de modo que proporcione al flujo sanguíneo otro camino por donde pasar. A partir de la ley de Poiseuille y de los datos aportados, determinar: (Q_0 / Q); la fracción de sangre que pasa por el injerto comparada con la que pasa por la obstrucción.



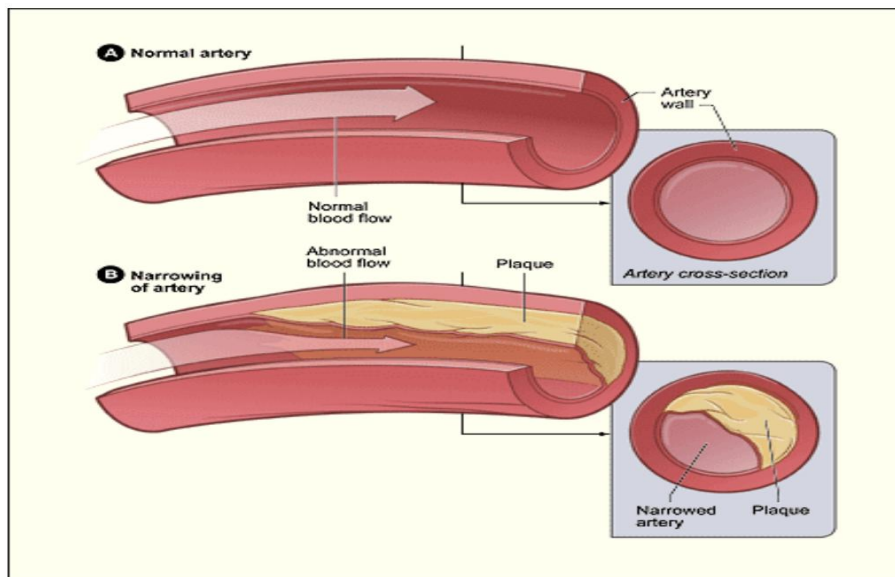
Datos: $L_0 = 0,2$, L_a ; $D_0 = 0,5$, D_a ; $L_a / L_i = 0,4$; $D_i / D_a = 2$

El problema del colesterol

Un colesterol alto en la sangre favorece la formación de depósitos grasos, llamados placas, en las paredes de los vasos sanguíneos. Suponga que una placa reduce el radio efectivo de una arteria en un 20%. Se pregunta: **a)** ¿Cómo afectará este bloqueo parcial a la rapidez con que la sangre fluye por la arteria?; **b)** ¿En qué factor deberá aumentar la presión en el caso estrechado para que el caudal por la arteria se mantenga invariante respecto del normal?

Sugerencia: tenga en cuenta la **Ley de Poiseuille**: $Q = \frac{\pi R^4}{8\mu l} \cdot \Delta p$ en donde Q representa el caudal de sangre por la arteria, μ la viscosidad de la sangre, l la longitud de la arteria, R el radio de la arteria y Δp la diferencia de presión.

c) ¿Qué consecuencias puede tener este aumento de presión Δp determinado en **b)**?



37) PARA PROFUNDIZAR

¿Qué es el esfigmomanómetro? ¿Cómo se lo utiliza?

38)

La figura adjunta muestra la presión negativa (por debajo de la atmosférica) que debe mantenerse en el tórax durante el ciclo respiratorio por un paciente con obstrucción de las vías aéreas para poder respirar. Se incluyen los efectos viscosos. Estime el trabajo, en Joules, realizado por el cuerpo durante una respiración.

R. K. Hobbie and B. J. Roth, *Intermediate Physics for Medicine and Biology*, 4th ed. Springer-Verlag, 2007.

Rta.: $8,8 \times 10^{-2} J$

39) Cómo se puede estimar el trabajo realizado en el corazón si se estudia la física del sistema cardiovascular?

Ref. Bibliográfica: GRUNFELD, V. *El caballo esférico*. BsAs, Lugar, 1991

