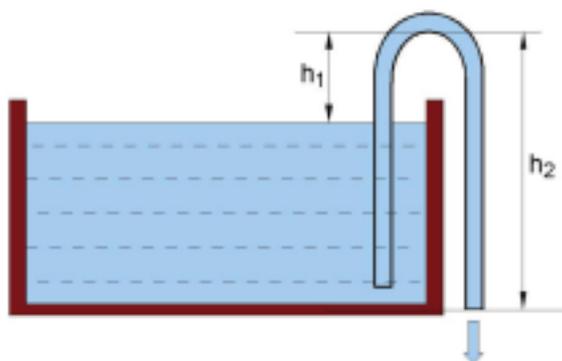


Trabajo Práctico 9

Fluidos en movimiento – Viscosidad – Turbulencia

1. Por un tubo horizontal de 6 cm de diámetro circula agua, llenándolo completamente. El tubo tiene un estrangulamiento donde el diámetro es de 3.5 cm. Si la velocidad del agua en la parte ancha es de 1.2 m/s, determinar la velocidad en la parte estrecha y calcular cuánto tiempo tardará en llenarse un recipiente de 50 litros ubicado a la salida del tubo.
2. Si bien la aorta es la arteria de mayor sección transversal, la velocidad de la sangre se reduce al pasar a las arterias principales dado que la suma de las secciones transversales de éstas es mayor que la sección transversal de la aorta. Calcular el valor medio de la velocidad del flujo sanguíneo en las arterias principales de una persona si para ésta el diámetro de la aorta es de 2 cm, la velocidad media de la sangre en la aorta es de 30 cm/s, y la sección transversal total de las arterias principales es de aproximadamente  $2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ .
3. Durante un huracán, el aire (densidad =  $1.2 \text{ kg/m}^3$ ) sopla repentinamente sobre el techo de una casa a una velocidad de 110 km/h. Calcular la fuerza ascensional sobre el techo, si éste es plano y tiene una superficie de  $90 \text{ m}^2$ . ¿Cuáles son las aproximaciones realizadas sobre el fluido y sobre el flujo?
4. En una arteria coronaria se ha formado una placa aterosclerótica que reduce el área transversal a  $1/5$  de su valor normal. ¿En qué porcentaje cambiará la presión manométrica donde se encuentra la placa, si la velocidad normal de la sangre en esa arteria es de 12 cm/s? ¿Qué consecuencias podría tener este cambio en la presión? (Presión arterial manométrica media = 100 Torr, densidad de la sangre =  $1.06 \text{ g/cm}^3$ )
5. Se usa un sifón para drenar agua de un tanque, como se indica en la figura, siendo  $h_1 = 30 \text{ cm}$  y  $h_2 = 2 \text{ m}$ . El tubo utilizado tiene un diámetro uniforme  $d = 2.5 \text{ cm}$ .
  - (a) Determinar el caudal del agua que sale por el extremo del tubo. ¿Es la velocidad del agua constante en todo el tubo? ¿Y su presión? Si para el cálculo se utiliza el teorema de Bernoulli, indicar la línea de corriente considerada.
  - (b) ¿Cuál es el límite en la altura  $h_1$  tal que el sifón pueda funcionar, si la presión atmosférica es de 1 atm?
  - (c) Indicar las aproximaciones que se hayan realizado al responder (a) y (b).

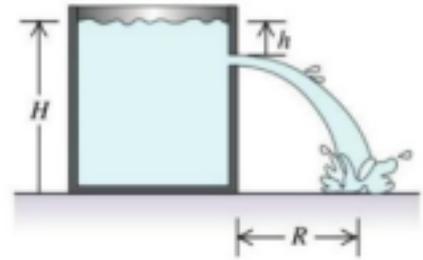


6. La figura muestra un depósito grande de paredes verticales que contiene un cierto líquido de densidad  $\rho$ . Éste alcanza una altura  $H$  respecto de la base del depósito, y está siendo descargado a través de un orificio ubicado a una distancia  $h$  por debajo de la superficie. La parte superior del depósito está abierta a la atmósfera.

(a) Aplicando la ecuación de Bernoulli a una línea de corriente, mostrar que la rapidez con que sale el líquido por el orificio es  $|\vec{v}_0| = \sqrt{2gh}$ . Este resultado es conocido como la *ley de Torricelli*. Indicar las aproximaciones realizadas (en particular, ¿qué se entiende al enunciar que el depósito es “grande”?).

(b) Para  $H = 1.5$  m y  $h = 50$  cm, determinar la distancia  $R$  desde la base del tanque a la que el chorro alcanza el suelo. ¿Para qué valor de  $h$  será máxima esta distancia?

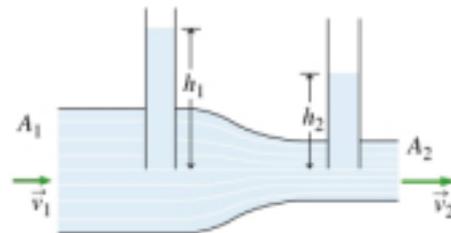
(c) Si se tapa el tanque herméticamente y se comienza a extraer aire, la presión en el interior se reducirá. Determinar, en función de  $H$ ,  $h$  y  $\rho$ , cuál es el valor  $P_1$  de la presión manométrica en la superficie por debajo del cual deja de salir líquido por el orificio. ¿Qué ocurre si se continúa bajando la presión en la superficie por debajo de  $P_1$ ?



7. En la figura se representa un tubo de Venturi, dispositivo utilizado para medir la velocidad de un fluido incompresible.

(a) Probar que la rapidez del fluido en la porción del tubo de mayor sección viene dada por  $|\vec{v}_1| = \sqrt{2gh / [(A_1/A_2)^2 - 1]}$ , donde  $h = h_1 - h_2$ .

(b) Suponiendo que el fluido es agua, determinar  $|\vec{v}_1|$  si el radio de la sección mayor es el doble que el de la menor, y la diferencia de alturas es 10 cm.



8. (a) Si se abre ligeramente un grifo de cocina, el agua saliente forma un chorro (tubo de flujo) cuya sección disminuye progresivamente hasta que finalmente se descompone en gotas. Analizar este fenómeno utilizando el teorema de Bernoulli y las propiedades de la tensión superficial.

(b) En la figura se muestra un instrumento conocido como *atomizador* o *vaporizador*, utilizado para aplicar perfume sobre el cuerpo. En base al teorema de Bernoulli y las propiedades de la tensión superficial, explicar cómo funciona este instrumento. ¿Se *vaporiza* realmente el perfume al accionar la bomba?



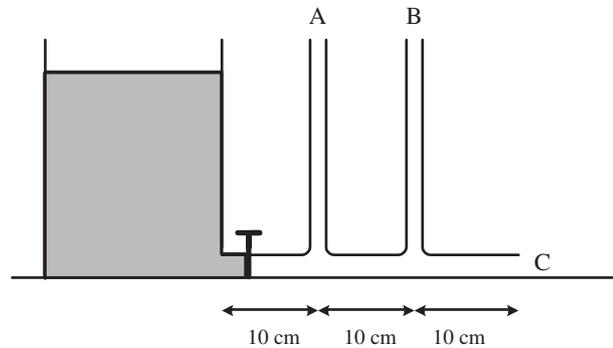
9. Se desea bombear petróleo desde un tanque a través de un tubo de acero horizontal de 12 cm de diámetro y 100 m de longitud, abierto en su extremo a la atmósfera. La densidad del fluido es de  $860 \text{ kg/m}^3$  y su coeficiente de viscosidad es  $\eta = 3$  poise.

(a) ¿Qué presión manométrica debe producir una bomba en el otro extremo del tubo para mantener un caudal constante de 50 litros por segundo? Calcular la potencia con que debe alimentarse la bomba. ¿Qué ocurre con la energía entregada?

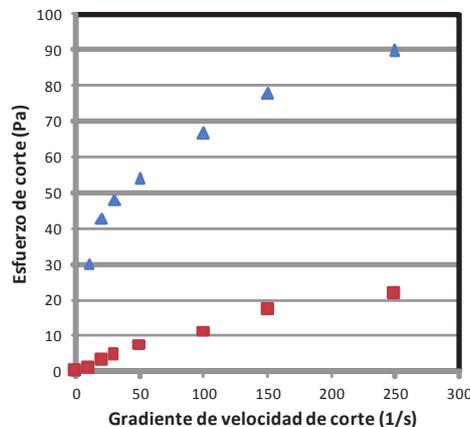
(b) Determinar qué presión extra sería necesaria si la tubería descarga a una altura de 10 m por encima del extremo del tubo en donde se encuentra la bomba. Comparar con el resultado obtenido en (a).

10. A un paciente acostado en una cama de hospital se le está suministrando plasma (densidad  $1.05 \text{ g/cm}^3$ , coeficiente de viscosidad  $0.013 \text{ P}$ ) por medio de una aguja introducida en una vena de uno de sus brazos. El plasma fluye desde un frasco ubicado a 1 m de altura por sobre el brazo, y conectado a la aguja a por medio de un tubo circular.

- (a) Determinar la presión manométrica del plasma en el extremo del tubo conectado a la aguja.
- (b) Si la aguja tiene 3 cm de longitud y 0.36 mm de radio interior, y la presión sanguínea en la vena es 12 mm de Hg superior a la presión atmosférica, ¿qué caudal de plasma está siendo suministrado al paciente?
11. El depósito representado en la figura tiene una gran superficie abierta a la atmósfera. En su parte inferior está conectado a un tubo horizontal de 1.2 cm de diámetro, a su vez conectado a dos tubos verticales A y B, y que finalmente desemboca a la atmósfera.
- (a) Si el depósito está lleno con un fluido no viscoso hasta una altura de 40 cm sobre la base, y se abre la llave, determinar el caudal que sale por el tubo horizontal y la altura a la que sube el líquido en los tubos A y B.
- (b) Suponer ahora que el depósito contiene un fluido que tiene un coeficiente de viscosidad de 0.1 P y una densidad de 0.8 g/cm<sup>3</sup>, y la altura del fluido en el depósito grande es tal que, una vez abierta la llave, el caudal saliente es igual que el calculado en la parte (a). Determinar la altura a la que sube el fluido en los tubos A y B.



12. Calcular la velocidad límite de una burbuja de aire ( $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ ) de 1 mm de diámetro en un líquido cuyo coeficiente de viscosidad es  $\eta = 0.015 \text{ P}$  y su densidad  $900 \text{ kg/m}^3$ . ¿Cuál sería la velocidad límite de la misma burbuja en agua a 20 °C?
13. En la industria de alimentos, muchos métodos de procesado de jugos incluyen el empleo de enzimas, como la pectinasa. Esta enzima hidroliza la pectina, un hidrato de carbono presente en los vegetales que confiere turbidez y viscosidad a los jugos. La figura muestra curvas de esfuerzo de corte versus gradiente de velocidad, obtenidas a partir de pulpa de mango con y sin tratamiento con pectinasa (cuadrados y triángulos, respectivamente).



- (a) A partir de la figura, ¿qué cambios cualitativos se producen en el jugo al tratarlo con pectinasa? ¿Puede aproximarse a alguno de estos jugos como un *fluido newtoniano*?

(b) En caso de poder modelarse a alguno de los jugos como un fluido newtoniano, determinar en forma aproximada su coeficiente de viscosidad. Investigar cómo podría definirse un “coeficiente de viscosidad” (se lo suele llamar *índice de consistencia*) cuando el modelo newtoniano no es aproximadamente válido.

14. (a) Calcular los números de Reynolds para los flujos de los problemas 9, 10 y 11(b) analizando si pueden tratarse como laminares (sólo en ese caso, si los fluidos son newtonianos, puede considerarse válida la ley de Poiseuille).

(b<sub>1</sub>) ¿Cuál es la velocidad máxima aproximada del agua en un tubo de 1.5 cm de diámetro, a temperatura ambiente, para que el flujo sea laminar? (b<sub>2</sub>) Determinar cuánto tiempo se tardaría en llenar un balde de 20 litros para este valor de la velocidad. Al abrir una canilla de agua corriente para lavar los platos, ¿el flujo de agua por la cañería será laminar o turbulento?

15. Evaluar los números de Reynolds para el flujo de la sangre en el sistema cardiovascular, en base a los datos siguientes: velocidad media de la sangre 30 cm/s en el extremo arterial y 4 mm/s en el extremo capilar; radio arterial medio 1.2 cm; radio capilar medio 4  $\mu\text{m}$ ; densidad 1.06 kg/m<sup>3</sup>; coeficiente de viscosidad  $\eta = 0.02$  P. En base a los resultados, ¿es razonable considerar que el flujo sanguíneo es laminar tanto en el extremo arterial como en el extremo capilar?

16. Una bacteria puede consumir una potencia motriz máxima de  $2 \times 10^{-18}$  W. Si se modela a esta bacteria como una esfera de 1  $\mu\text{m}$  de radio, ¿A qué velocidad máxima aproximada podrá moverse en el seno de un líquido de viscosidad  $\eta = 0.01$  P?

Ayuda: tener en cuenta el trabajo por unidad de tiempo realizado por la fuerza viscosa ejercida por el fluido sobre la bacteria.

17. (a) Probar que para un flujo laminar en un tubo cilíndrico de radio  $r$  el esfuerzo de corte ejercido sobre las paredes viene dado por  $\sigma_{\parallel} = 4Q\eta/(\pi r^3)$ , donde  $Q$  es el caudal y  $\eta$  el coeficiente de viscosidad.

Ayuda: determinar las fuerzas que actúan sobre una porción de fluido en el tubo, notando que la fuerza neta debe ser cero si éste ha de moverse con velocidad constante.

(b) Calcular el esfuerzo de corte que produce la sangre sobre la lámina interna de la pared vascular (endotelio) para la arteria del problema 4, si el radio interior de ésta es de 6.5 mm. Considerar que 12 cm/s es la velocidad media de la sangre en la arteria.

Videos: recomendamos ver y discutir con los docentes el video “Efecto Magnus”, que puede encontrarse en la página web de la materia.

Simulaciones: recomendamos ejecutar y discutir con los docentes la simulación “Presión en fluidos”, que puede descargarse desde la página web de la materia.

---

Algunos resultados: 1)  $|\vec{v}| = 3.53$  m/s,  $\Delta t = 14.7$  s; 2)  $|\vec{v}| = 4.7$  cm/s; 3)  $|\vec{F}| = 50400$  N; 4) en un 1.4%; 5a)  $Q = 2.83$  l/s; la velocidad es constante, no así la presión; 5b)  $h_{1\text{máx}} = 10.3$  m; 6b)  $R = 1.41$  m;  $R$  es máxima para  $h = H/2$ ; 6c)  $P_1 = -\rho gh$ ; 7b)  $|\vec{v}| = 0.36$  m/s; 9a)  $P = 2.95 \times 10^5$  Pa, Pot = 14.7 kW; 9b)  $\Delta P = 0.84 \times 10^5$  Pa; 10a)  $P = 10300$  Pa; 10b)  $Q = 1.47$  ml/s; 11a)  $Q = 317$  ml/s; el líquido no sube por los tubos; 11b)  $h_B = 7.94$  cm,  $h_A = 2h_B$ ; 12)  $|\vec{v}_{\text{lím}}| = 32.7$  cm/s, en agua:  $|\vec{v}_{\text{lím}}| = 54.4$  cm/s; 13b)  $\eta \simeq 1$  P; 14a)  $\text{Re} \simeq 1500, 2100, 2700$ ; 14b)  $|\vec{v}_{\text{máx}}| \simeq 13$  cm/s,  $\Delta t \simeq 14$  min; 15)  $\text{Re}_{\text{art}} \simeq 3800$ ,  $\text{Re}_{\text{cap}} \simeq 0.02$ ; 16)  $|\vec{v}_{\text{máx}}| \sim 0.01$  mm/s; 17b)  $\sigma_{\parallel} = 0.15$  N/m<sup>2</sup>.