Física I - 510140

Seminario # 2

1. Situaciones para análisis

Situación para análisis 1
El precio de la gasolina en una estación es de 1.3 euros por litro. Una estudiante usa 41 euros para comprar gasolina. Si sabe que 4 cuartos hace un galón y que 1 litro es casi 1 cuarto, de inmediato razona que puede comprar (elija una)

a) menos de un galón de gasolina

b) aproximadamente 5 galones de gasolina

c) cerca de ocho galones de gasolina

d) más de 10 galones de gasolina.

Respuesta 1
Sea x la cantidad de gasolina que puede comprar, entonces:

$$x = 41\,€ \times \frac{1\,\mathrm{L}}{1.3\,€} \times \frac{1\,\text{cuarto}}{1\,\mathrm{L}} \times \frac{1\,\text{galón}}{4\,\text{cuarto}} = 7.88\,\text{galones}.$$

Situación para análisis 2
En una situación en que los datos se conocen a tres cifras significativas, se escribe $6.379\,\mathrm{m} = 6.38\,\mathrm{m}$ y $6.374\,\mathrm{m} = 6.37\,\mathrm{m}$. Cuando un número termina en 5, arbitrariamente se elije escribir $6.375\,\mathrm{m} = 6.38\,\mathrm{m}$. Del mismo modo se podría escribir $6.375\,\mathrm{m} = 6.37\,\mathrm{m}$, "redondenando hacia abajo" en lugar de "redondear hacia arriba", porque el número 6.375 se cambiaría por iguales incrementos en ambos casos. Ahora, considere una estimación del orden de magnitud en la cual los factores de cambio, más que los incrementos, son importantes. Se escribe $500\,\mathrm{m} \sim 10^3\,\mathrm{m}$ porque 500 difiere de 100 por un factor de 5, mientras que difiere de 1 000 sólo por un factor de 2. Escriba $437\,\mathrm{m} \sim 10^3\,\mathrm{m}$ y $305\,\mathrm{m} \sim 10^2\,\mathrm{m}$. ¿Qué distancia difiere de 100 m y de 1 000 m por iguales factores de modo que para la misma se podría escoger representar su orden de magnitud como $\sim 10^2\,\mathrm{m}$ o como $\sim 10^3\,\mathrm{m}$?

Respuesta 2
Buscamos un número N entre 10^2 y 10^3, tal que multiplicado por un factor y esté a la misma distancia de 10^2 y de 10^3. Tomando $N = 500$ como ejemplo, notamos que

$$10^2 = 500 * \frac{1}{5} \quad \text{o} \quad 10^2 * 5 = 500 \quad \text{y} \quad 500 * 2 = 10^3$$

Note que en ese ejemplo el número es $N = 500$ y los factores son diferentes $y_1 = \frac{1}{5}$ e $y_2 = 2$. De manera similar, en la situación planteada, podemos escribir

$$10^2 * y = N \quad \text{y} \quad N * y = 10^3 \quad \therefore \quad y^2 = 10 \quad \rightarrow \quad y = \sqrt{10}$$

y el número buscado es $N = 10^2 * \sqrt{10} \approx 316$. El factor $\sqrt{10} \approx 3.16$, es usado para mantener o aumentar en uno la potencia de 10 cuando se determina el orden de magnitud de un número.

Situación para análisis 3

Suponga que Leonardo Farkas le ofrece \$ 1000 millones de dólares si es capaz de contarlos usando sólo billetes de un dólar. ¿Debe aceptar su oferta? Argumente su respuesta. Suponga que cuenta un billete cada segundo y advierta que necesita, al menos, 8 horas al día para dormir y comer.

Respuesta 3

Sea x el número de años que necesita para contar los billetes que le ofrece Farkas, o sea

$$x = (1 \times 10^9\,\$) \times \frac{1\,\mathrm{s}}{1\$} \times \frac{1\,\mathrm{h}}{3.6 \times 10^3\,\mathrm{s}} \times \frac{1\,\mathrm{día}}{16\,\mathrm{h}} \times \frac{1\,\mathrm{año}}{365\,\mathrm{día}} \approx 48\,\mathrm{años}$$

Esto quiere decir que durante 48 año, trabajando 365 días al año 16 horas por día y contando billetes de un dolar cada segundo usted puede contar el dinero ofrecido por Farkas. Usted decide!

Situación para análisis 4

En un dado experimento de mediciones de longitud se reporta la longitud del alto de un cilindro de cobre como $(30.3 \pm 0.1)\,\mathrm{cm}$. ¿Cuál es la información que Ud. puede extraer de la medida reportada?

Respuesta 4

La medida reportada indica que se utilizó un instrumento de medida cuya precisión es de $0.1\,\mathrm{cm} \equiv 1\,\mathrm{mm}$ y que el alto del cilindro está entre $30.2\,\mathrm{cm}$ y $30.4\,\mathrm{cm}$. Las cifras ciertas en la medida son el primer 3 y el cero, mientras que el último 3 es incierto.

---

2. Ejercicios

Nota. Para resolver los siguientes ejercicios considere las siguientes expresiones matemáticas para el cálculo de la densidad (ρ) y el volumen de una esfera (V)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{y} \quad V = \frac{4}{3}\pi r^3,$$

respectivamente, donde m es la masa y r el radio.

Ejercicio 1

Un metro cúbico ($1.00\,\mathrm{m}^3$) de aluminio tiene una masa de $2.70\times10^3\,\mathrm{kg}$, y el mismo volumen de hierro tiene una masa de $7.86\times10^3\,\mathrm{kg}$. Encuentre el radio de una esfera de aluminio sólida que equilibraría una esfera de hierro sólida de $2.00\,\mathrm{cm}$ de radio sobre una balanza de brazos iguales.

Desarrollo 1

Sea m_{Fe} la masa de Hierro y m_{Al} la masa de aluminio. Se sabe que $m_{\mathrm{Fe}} = m_{\mathrm{Al}}$ y $r_{\mathrm{Fe}} = 2.00\,\mathrm{cm} = 2.00\times10^{-2}\,\mathrm{m}$, así

$$\begin{aligned}
m_{\mathrm{Al}} &= m_{\mathrm{Fe}} \\
\rho_{\mathrm{Al}}V_{\mathrm{Al}} &= \rho_{\mathrm{Fe}}V_{\mathrm{Fe}} \\
\rho_{\mathrm{Al}}r_{\mathrm{Al}}^3 &= \rho_{\mathrm{Fe}}r_{\mathrm{Fe}}^3 \\
r_{\mathrm{Al}} &= \sqrt[3]{\frac{\rho_{\mathrm{Fe}}r_{\mathrm{Fe}}^3}{\rho_{\mathrm{Al}}}} = \sqrt[3]{\frac{(7.86\times10^3\,\mathrm{kg/m^3})(2.00\times10^{-2}\,\mathrm{m})^3}{2.70\times10^3\,\mathrm{kg/m^3}}} \\
&= 0.0286\,\mathrm{m} = 2.86\,\mathrm{cm}
\end{aligned}$$

Ejercicio 2

El radio de una esfera sólida uniforme mide $(6.50\pm0.02)\,\mathrm{cm}$ y su masa es de $(1.85\pm0.02)\,\mathrm{kg}$. Determine la densidad de la esfera en kilogramos por metro cúbico y la incertidumbre (absoluta, fraccional y porcentual) en el cálculo de la densidad.

Desarrollo 2

Nos piden calcular la densidad en $\mathrm{kg/m^3}$. Primero, convertimos el radio de centímetros a metros

$$r = 6.50\,\mathrm{cm}\left(\frac{1\,\mathrm{m}}{1\times10^2\,\mathrm{cm}}\right) = 0.0650\,\mathrm{m} = 6.50\times10^{-2}\,\mathrm{m}$$

y su error

$$\Delta r = 0.02\,\mathrm{cm}\left(\frac{1\,\mathrm{m}}{1\times10^2\,\mathrm{cm}}\right) = 0.0002\,\mathrm{m} = 2\times10^{-4}\,\mathrm{m}$$

De modo que el radio, expresado en metros, es

$$r = (6.50\pm0.02)\times10^{-2}\,\mathrm{m}$$

Sustituyendo la expresión para V, en este caso el volumen de una esfera de radio r, en la expresión para la densidad, ρ, se obtiene, usando $\pi = 3.14$:

$$\begin{aligned}\rho = \left(\frac{3}{4\pi}\right)\frac{m}{r^3} &= \frac{3(1.85\,\mathrm{kg})}{4\pi(6.50\times10^{-2}\,\mathrm{m})^3} = \frac{5.55\,\mathrm{kg}}{4(3.14)(2.75\times10^{-4}\,\mathrm{m}^3)}\\ &= \frac{5.55\,\mathrm{kg}}{3.45\times10^{-3}\,\mathrm{m}^3} = 1.61\times10^3\,\mathrm{kg/m^3}\end{aligned}$$

Para calcular el error en ρ, o sea $\Delta\rho$, sigamos el siguiente procedimiento: Primero calulemos $Q_1 = r^3$,

$$Q_1 = r^3 = (6.50\times10^{-2}\,\mathrm{m})^3 = 2.75\times10^{-4}\,\mathrm{m}^3$$

El error fraccional en Q_1 es

$$\frac{\Delta Q_1}{|Q_1|} = |3|\left(\frac{\Delta r}{|r|}\right) = 3\left(\frac{2\times10^{-4}\,\mathrm{m}}{6.50\times10^{-2}\,\mathrm{m}}\right) = 3(3\times10^{-3}) = 9\times10^{-3},$$

donde usamos la regla de propagación del error para una potencia. Ahora, calculemos $Q = m/Q_1$,

$$Q = \frac{m}{Q_1} = \frac{1.85\,\mathrm{kg}}{2.75\times10^{-4}\,\mathrm{m}^3} = 6.73\times10^3\,\mathrm{kg/m^3}$$

El error fraccional en Q es

$$\begin{aligned}\frac{\Delta Q}{|Q|} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{|m|}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Q_1}{|Q_1|}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2\times10^{-2}\,\mathrm{kg}}{1.85\,\mathrm{kg}}\right)^2 + (9\times10^{-3})^2}\\ &= \sqrt{(0.01)^2 + (0.009)^2} = \sqrt{(1\times10^{-4}) + (8\times10^{-5})}\\ &= \sqrt{2\times10^{-4}} = 1\times10^{-2},\end{aligned}$$

donde usamos la regla de propagación de error en una división.

Dado que ρ es una constante sin error, $3/(4\pi)$, multiplicado por Q, el error fraccional en ρ es igual al error fraccional en Q, o sea

$$\boxed{\frac{\Delta\rho}{|\rho|} = 1\times10^{-2}}$$

el error porcentual en ρ es

$$\boxed{\frac{\Delta\rho}{|\rho|}\times100\,\% = 1\,\%}$$

y el error en ρ es

$$\Delta\rho = (1\times10^{-2})(1.61\times10^3\,\mathrm{kg/m^3}) = 2\times10^1\,\mathrm{kg/m^3}$$

Finalmente, podemos escribir

$$\boxed{\rho = (1.61\pm0.02)\times10^3\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}}$$

Ejercicio 3
Una ecuación para calcular la energía cinética K en el caso de una masa m moviéndose con rapidez v es:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad \rightarrow \quad K = \frac{1}{2}mQ_1 \quad \rightarrow \quad K = \frac{1}{2}Q_2.$$

Una bola de masa $m = (1.4 \pm 0.2)\,\mathrm{kg}$ tiene una rapidez $v = (4.0 \pm 0.2)\,\mathrm{m/s}$. En este caso:

a) Dado $Q_1 = v^2$, calcular Q_1 y su incertidumbre ΔQ_1.

b) Dado $Q_2 = mQ_1$, calcular Q_2 y su incertidumbre ΔQ_2.

c) Dado $K = \frac{1}{2}Q_2$, calcular K y su incertidumbre ΔK.

Desarrollo 3
Tenemos $m = (1.4 \pm 0.2)\,\mathrm{kg}$ y $v = (4.0 \pm 0.2)\,\mathrm{m/s}$.

a) Dado $Q_1 = v^2$ se tiene

$$Q_1 = v^2 = (4.0\,\mathrm{m/s})^2 = 16\,\mathrm{m^2/s^2}$$

y, usando regla de las potencias para la propagación de los errores, se tiene

$$\frac{\Delta Q_1}{|Q_1|} = |n|\left(\frac{\Delta v}{|v|}\right) = 2\left(\frac{0.2}{4.0}\right) = \frac{0.4}{4.0} = 0.1 = 1 \times 10^{-1}$$

de modo que

$$\Delta Q_1 = |Q_1|(0.1) = (16\,\mathrm{m^2/s^2})(0.1) = 1.6\,\mathrm{m^2/s^2} \rightarrow 2\,\mathrm{m^2/s^2}$$

y así

$$\boxed{Q_1 = (16 \pm 2)\,\mathrm{m^2/s^2}}$$

b) Dado $Q_2 = mQ_1$ se tiene

$$Q_2 = mQ_1 = (1.4\,\mathrm{kg})(16\,\mathrm{m^2/s^2}) = 22.4\,\mathrm{kg\,m^2/s^2} \rightarrow 22\,\mathrm{kg\,m^2/s^2}$$

El error fraccional en m es

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{0.2}{1.4} = 0.14 \rightarrow 0.1 = 1 \times 10^{-1}$$

Usando regla de propagación de los errores en la multiplicación, el error fraccional en Q_2 es

$$\begin{aligned}\frac{\Delta Q_2}{|Q_2|} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{|m|}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Q_1}{|Q_1|}\right)^2} \\ &= \sqrt{(1 \times 10^{-1})^2 + (1 \times 10^{-1})^2} = \sqrt{(2 \times 10^{-2})} \\ &= (1.4 \times 10^{-1}) \rightarrow 1 \times 10^{-1}\end{aligned}$$

y el error en Q_2 es:

$$\Delta Q_2 = |Q_2|(0.1) = (22\,\mathrm{kg\,m^2/s^2})(0.1) = 2.2\,\mathrm{kg\,m^2/s^2} \rightarrow 2\,\mathrm{kg\,m^2/s^2}$$

de modo que se tiene

$$\boxed{Q_2 = (22 \pm 2)\,\mathrm{kg\,m^2/s^2}}$$

c) Puesto que K es una constante, $\frac{1}{2}$, multiplicado por Q_2, el error fraccional de K es igual al error fraccional de Q_2, así

$$K = \frac{1}{2}Q_2 = \frac{1}{2}\left(22\,\mathrm{kg\,m^2/s^2}\right) = 11\,\mathrm{kg\,m^2/s^2}$$

y

$$\begin{aligned}\frac{\Delta K}{|K|} = 1 \times 10^{-1}, \therefore\ \Delta K &= |K|(1 \times 10^{-1}) = (11\,\mathrm{kg\,m^2/s^2})(1 \times 10^{-1}) \\ &= 1.1\,\mathrm{kg\,m^2/s^2} \rightarrow 1\,\mathrm{kg\,m^2/s^2}\end{aligned}$$

de modo que

$$\boxed{K = (11 \pm 1)\,\mathrm{kg\,m^2/s^2}}$$

Ejercicio 4

Calcule la superficie (área) de la figura adjunta si el radio de la semiesfera es $R = 4.151\,\mathrm{m}$, el largo del cono truncado es $h = 6.38\,\mathrm{m}$ y el radio de la circunferencia derecha es $r = 1.7\,\mathrm{m}$. Considere $\pi = 3.14$.

Área de la semiesfera:

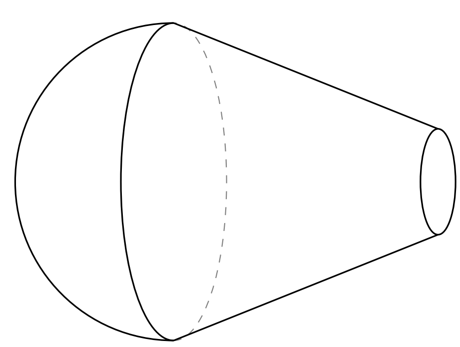
$$A_{\mathrm{se}} = 2\pi R^2.$$

Área del manto del cono truncado:

$$A_{\mathrm{ct}} = \pi(R + r)\sqrt{h^2 + (R - r)^2}.$$

Área circunferencia derecha:

$$A_{\mathrm{cir}} = \pi r^2.$$



Desarrollo 4

El área total de la superficie exterior se obtiene mediante la suma de las contribuciones de cada superficie señalada,

$$A_{\mathrm{total}} = A_{\mathrm{se}} + A_{\mathrm{ct}} + A_{\mathrm{cir}}. \tag{1}$$

A continuación calculamos cada una de esas áreas.

1. Área de la semiesfera:

$$\begin{aligned}A_{\text{se}} &= 2\pi R^2\\ &= 2(3.1415)(4.151\,\text{m})^2 = 2(3.1415)(17.23\,\text{m}^2) = \boxed{108.2\,\text{m}^2}\end{aligned}$$

2. Área del manto del cono truncado:

$$\begin{aligned}A_{\text{ct}} &= \pi(R+r)\sqrt{h^2+(R-r)^2}\\ &= (3.1415)(4.151\,\text{m}+1.7\,\text{m})\sqrt{(6.38\,\text{m})^2+(4.151\,\text{m}-1.7\,\text{m})^2}\\ &= (3.1415)(5.8\,\text{m})\sqrt{40.7\,\text{m}^2+(2.4\,\text{m})^2}\\ &= (3.1415)(5.8\,\text{m})\sqrt{40.7\,\text{m}^2+5.8\,\text{m}^2}\\ &= (3.1415)(5.8\,\text{m})\sqrt{46.5\,\text{m}^2} = (3.1415)(5.8\,\text{m})(6.82\,\text{m})\\ &= \boxed{1.2\times 10^2\,\text{m}^2}\end{aligned}$$

3. Área circular derecha

$$\begin{aligned}A_{\text{cir}} &= \pi r^2\\ &= (3.1415)(1.7\,\text{m})^2 = (3.1415)(2.9\,\text{m}^2) = \boxed{9.1\,\text{m}^2}\end{aligned}$$

Luego, el área total A_{total} de la figura mostrada es,

$$\begin{aligned}A_{\text{total}} &= 108.2\,\text{m}^2 + 1.2\times 10^2\,\text{m}^2 + 9.1\,\text{m}^2\\ &= \boxed{237\,\text{m}^2}\end{aligned}$$

Ejercicio 5

Un conductor de camión desea estimar cuanto combustible necesita para realizar el transporte de sustancias entre dos lejanas ciudades. Para ello traza su ruta en un mapa y, utilizando una regla y una escala adecuada, obtiene que la trayectoria entre dichas ciudades es $D = 86.2\,\text{km}$ con un error de $\Delta D = 0.7\,\text{km}$. Según el fabricante del camión el rendimiento del camión en carretera es $R = (5.5\pm 0.3)\,\text{km/lt}$, es decir, por cada $5.5\,\text{km}$ recorridos el camión consume $1\,\text{lt}$ de combustible. ¿Cuántos litros de combustible- incluido su error- necesita el camionero para realizar el recorrido? ¿Cuál es el error porcentual con que estimará el uso del combustible?

Desarrollo 5

Sea el rendimiento del camión $R = (5.5\pm 0.3)\,\text{km/lt}$ y la distancia a ser recorrida $D = (86.2\pm 0.7)\,\text{km}$.

Calculemos los litros, L, de combustible que necesita el camión para hacer el recorrido D:

$$L = \frac{D}{R} = \frac{86.2\,\text{km}}{5.5\,\text{km/lt}} = \boxed{16\,\text{lt}}$$

Ahora, calculamos el error fraccional en el cálculo de los litros de combustible:

$$\frac{\Delta L}{|L|} = \sqrt{\left(\frac{\Delta D}{|D|}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{|R|}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0.7}{86.2}\right)^2 + \left(\frac{0.3}{5.5}\right)^2} = \sqrt{(0.008)^2 + (0.05)^2}$$

Antes de proseguir los cálculos, note que el error fraccional en R es 6.25 veces mayor que el error fraccional en D, de modo que el error fracciona en L debe ser igual al error fraccional en R. Luego:

$$\frac{\Delta L}{|L|} = \frac{\Delta R}{|R|} = 0.05 \quad \rightarrow \quad \Delta L = (16\,\mathrm{lt})(0.05) = 0.8$$

Por lo tanto, el combustible calculado para realizar el recorrido es:

$$\boxed{L = (16.0 \pm 0.8)\,\mathrm{lt}}$$

y sus errores fraccional y porcentual son, respectivamente,

$$\boxed{\frac{\Delta L}{|L|} = 0.05} \quad \mathrm{y} \quad \boxed{\frac{\Delta L}{|L|} \times 100\,\% = 5\,\%}$$

Ejercicio 6

El *número de Reynolds* (Re) es una cantidad que relaciona la densidad ρ, la viscosidad μ, y la rapidez v de un fluido, con el diámetro D de la tubería por la que circula. Su valor indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento. El número de Reynolds se define de acuerdo a la ecuación

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho v D}{\mu}.$$

Calcule el número de Reynolds del agua a $20\,^\circ\mathrm{C}$ que circula por una cañería de diámetro $D = (0.17 \pm 0.01)\,\mathrm{m}$ con rapidez $v = (40.5 \pm 0.8)\,\mathrm{m/s}$ y cuya viscosidad es $\mu = (1.0 \pm 0.1) \times 10^{-3}\,\mathrm{kg/(m\,s)}$. Considere que la densidad del agua $\rho = 1000\,\mathrm{kg/m^3}$ es constante. ¿Cuál es el error porcentual del cálculo realizado?

Desarrollo 6

Hagamos $Q_1 = (vD)/\mu$. Luego, el número de Reynolds se escribe $\mathrm{Re} = \rho Q_1$.

Calculemos, en primer lugar, Q_1:

$$Q_1 = \frac{(40.5\,\mathrm{m/s})(0.17\,\mathrm{m})}{1.0 \times 10^{-3}\,\mathrm{kg/(m\,s)}} = \frac{6.9\,\mathrm{m^2/s}}{1.0 \times 10^{-3}\,\mathrm{kg/(m\,s)}} = 6.9 \times 10^3\,\mathrm{m^3/kg}$$

Ahora calculamos el error fraccional en Q_1:

$$\begin{aligned}
\frac{\Delta Q_1}{|Q_1|} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta v}{|v|}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{|D|}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \mu}{|\mu|}\right)^2} \\
&= \sqrt{\left(\frac{0.8}{40.5}\right)^2 + \left(\frac{0.01}{0.17}\right)^2 + \left(\frac{0.1 \times 10^{-3}}{1.0 \times 10^{-3}}\right)^2} \\
&= \sqrt{(0.02)^2 + (0.06)^2 + (0.1)^2} = \sqrt{4 \times 10^{-4} + 4 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-2}} \\
&= \sqrt{0.01} = 0.1
\end{aligned}$$

Ahora, calculamos el número de Reynolds:

$$\mathrm{Re} = \rho Q_1 = (1000\,\mathrm{kg/m^3})(6.9 \times 10^3\,\mathrm{m^3/kg}) = 6.9 \times 10^6$$

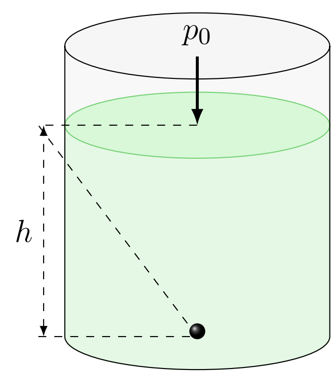
El error fraccional en el cálculo del número de Reynolds debe ser igual al error fraccional de Q_1, o sea:

$$\boxed{\frac{\Delta \mathrm{Re}}{|\mathrm{Re}|} = \frac{\Delta Q_1}{|Q_1|} = 0.1}$$

y el error porcentual en el cálculo del número de Reynolds es:

$$\boxed{\frac{\Delta \mathrm{Re}}{|\mathrm{Re}|} \times 100\,\% = 1 \times 10^1\,\%}$$

Ejercicio 7



En *Mecánica de Fluidos* la ecuación que permite obtener la presión que ejerce un fluido en reposo de densidad ρ a una profundidad h, se calcula de acuerdo a la ecuación

$$p = p_0 + \rho g h$$

donde p_0 es la presión atmosférica y g es la aceleración de gravedad terrestre.

En un laboratorio se desea estimar la presión que ejerce el mercurio sobre una esfera que está sumergida a una profundidad h. Para esta labor se midieron experimentalmente las siguientes cantidades:

$$p_0 = (1.01 \pm 0.03) \times 10^5\,\mathrm{N/m^2}, \qquad \rho_{Hg} = (1.4 \pm 0.5) \times 10^4\,\mathrm{kg/m^3},$$
$$h = (0.81 \pm 0.05)\,\mathrm{m}, \qquad g = (9.8 \pm 0.2)\,\mathrm{m/s^2}.$$

Determine la presión sobre la esfera y estime el error porcentual del calculo de la presión.

Desarrollo 7

Sea $Q_1 = \rho_{Hg} g h$, luego $p = p_0 + Q_1$. Calculemos primero Q_1, su error fraccional $\Delta Q_1/|Q_1|$ y su error ΔQ_1:

$$Q_1 = (1.4 \times 10^4\,\mathrm{kg/m^3})(9.8\,\mathrm{m/s^2})(0.81\,\mathrm{m}) = 1.1 \times 10^5\,\mathrm{N/m^2}$$

$$\frac{\Delta Q_1}{|Q_1|} = \sqrt{\left(\frac{0.5 \times 10^4}{1.4 \times 10^4}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{9.8}\right)^2 + \left(\frac{0.05}{0.81}\right)^2} = \sqrt{(0.4)^2 + (0.02)^2 + (0.06)^2}$$

Note que el error fraccional en ρ_{Hg} es 20 veces mayor que el error fraccional en g y 6.7 veces mayor que el error fraccional en h. Así, el error fraccional en Q_1 es igual al error fraccional en ρ_{Hg}. Esto es:

$$\frac{\Delta Q_1}{|Q_1|} = \frac{\Delta \rho_{\mathrm{Hg}}}{|\rho_{\mathrm{Hg}}|} = 0.4 \quad \rightarrow \quad \Delta Q_1 = (1.1 \times 10^5\,\mathrm{N/m^2})(0.4) = 4 \times 10^4\,\mathrm{N/m^2}$$

Ahora, calcularemos $p = p_0 + Q_1$ y su incertidumbre Δp,

$$p = 1.01 \times 10^5\,\mathrm{N/m^2} + 1.1 \times 10^5\,\mathrm{N/m^2} = \boxed{2.1 \times 10^5\,\mathrm{N/m^2}}$$

Ahora, note que el error en $Q_1\,(4 \times 10^4\,\mathrm{N/m^2})$ es 13.3 veces mayor que el error en $p_0\,(3 \times 10^3\,\mathrm{N/m^2})$, de modo que el error en p es el mismo que el error en Q_1, o sea

$$\Delta p = \Delta Q_1 = 4 \times 10^4\,\mathrm{N/m^2}$$

Por último, el error porcentual del cálculo de la presión es

$$\frac{\Delta p}{|p|} \times 100\,\% = \left(\frac{4 \times 10^4\,\mathrm{N/m^2}}{2.1 \times 10^5\,\mathrm{N/m^2}}\right) \times 100\,\% = \boxed{2 \times 10^1\,\%}$$
