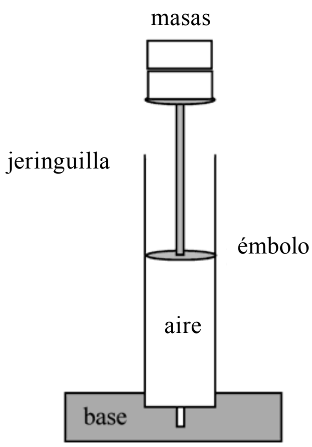
DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE UNIVERSAL DE LOS GASES

La ley general de los gases relaciona la presión P, el volumen V, la temperatura T, el número de moles n, y la constante universal de los gases R, como $PV = nRT$. Una jeringuilla cerrada herméticamente y con una cantidad determinada de gas en su interior ve reducido su volumen al situar masas sobre el extremo del émbolo. La presión atmosférica es P_0, la masa m, el área de la sección transversal del émbolo es A, la gravedad g y la presión aplicada resultante es la fuerza dividida por el área o $\frac{mg}{A}$.

A partir de la ecuación $nRT = PV = \left(P_0 + \frac{mg}{A}\right)V$ obtenemos $\frac{1}{V}(RnT) = m\left(\frac{g}{A}\right) + P_0$. Una representación gráfica de la inversa del volumen en relación con la masa produce como resultado una línea recta, a partir de la cual se puede calcular R. Esto supone que la temperatura se mantiene constante y determinamos n.

Se cierra una jeringuilla calibrada con un émbolo. Las masas se disponen cuidadosamente en la parte superior del émbolo como se muestra.



La jeringuilla está calibrada desde cero hasta 35 cc en intervalos de 1 cc. Se estima que la incertidumbre en la medición del volumen es 0,4 cc. Resulta difícil leer la escala y el borde del émbolo tiene una anchura perceptible, así que la incertidumbre es de por lo menos ±0,4 cc a pesar de que la menor lectura sea de 0,1 cc.

Cada masa de 500 g se pesó usando una balanza digital con precisión de 0,1g. En todos los casos las masas medidas se diferenciaron en menos de 1 g. Una medida típica fue m_1 = 499,3 g. Por tanto, se supone que las masas son precisas hasta ±1 g o sea $\Delta m = \pm 0{,}001$ kg.

Medición datos brutos	Masa m / kg $\Delta m = \pm 0{,}001$ kg por masa de 500 g	Volumen V / cm^3 $\Delta V = \pm 0{,}4$ cm^3
1	0,000	34,6
2	0,500	33,0
3	1,000	30,0
4	1,500	26,9
5	2,000	25,1
6	2,500	23,5
7	3,000	22,0
8	3,500	20,1
9	4,000	19,0
10	4,500	17,8
11	5,000	17,0

El diámetro d de la jeringuilla se midió con un calibrador, resultando ser $d = (2{,}33 \pm 0{,}01)\times10^{-2}$m.

El área de la superficie del émbolo es $A = \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = 4{,}26\times10^{-4}\,\mathrm{m}^2$.

La temperatura de la habitación era de 16ºC o 289 K. Para hallar n, se midió P_0 con un barómetro y resultó ser $1{,}07 \times 10^5$ Pa.

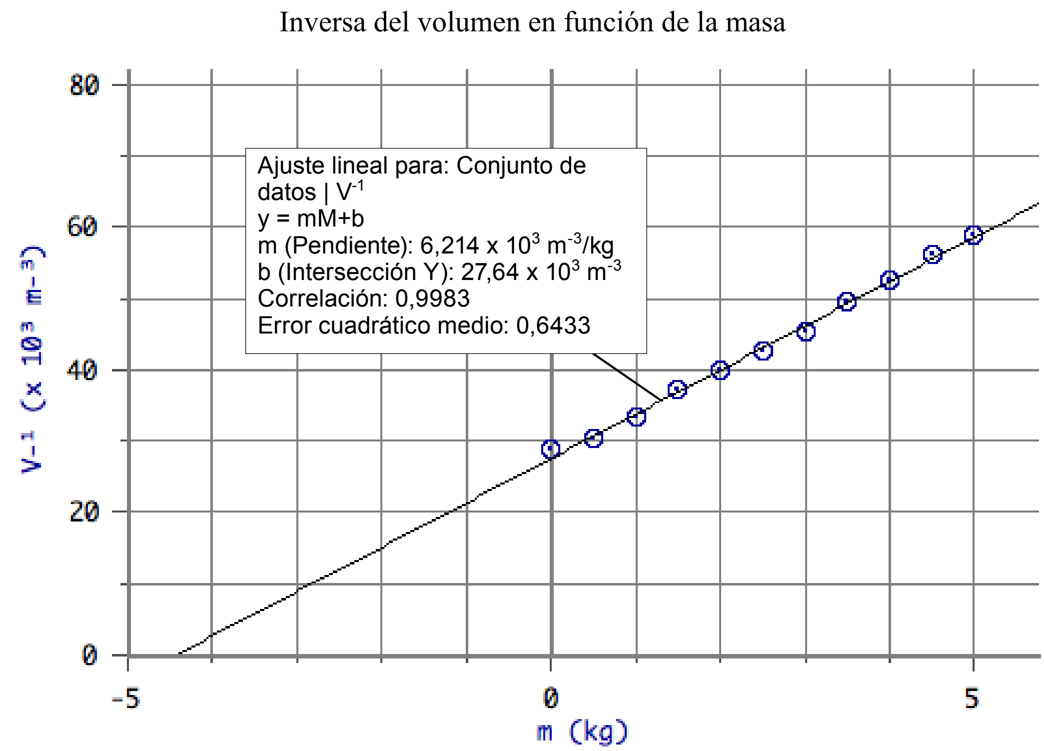
Un mol de un gas en condiciones normales (CN) de presión y temperatura (T = 273K, $P = 1{,}01\times10^5$ Pa) ocupa $2{,}24\times10^{-2}$ m^3. Por lo tanto,

$$n = \frac{P_0V_0/T_0}{P_{CN}V_{CN}/T_{CN}} = \frac{273\times1{,}07\times3{,}46\times10^{-5}}{289\times1{,}01\times2{,}24\times10^{-2}} = 1{,}55\times10^{-3}\,\mathrm{mol}$$

donde $3{,}46\times10^{-5}$ m^3 es el volumen de la jeringuilla a 289K. Se supone que la gravedad g es $9{,}81\mathrm{ms}^{-2}$.

Todos los cálculos, incluida la pendiente, se hicieron sobre la hoja de cálculo del programa de gráficas *LoggerPro* 3.4.6. Un ejemplo: $\frac{1}{V_1} = \frac{1}{34{,}6\times10^{-5}\,\mathrm{m}^3} = 2{,}89\times10^4\,\mathrm{m}^{-3}$.

A continuación se presenta la gráfica de la inversa del volumen (la variable dependiente) en función de la masa (la variable independiente).



Cuando $nRT = \left(P_0 + \frac{mg}{A}\right)V$ vemos que $nRT\left(\frac{1}{V}\right) = m\left(\frac{g}{A}\right) + P_0$ y despejamos R.

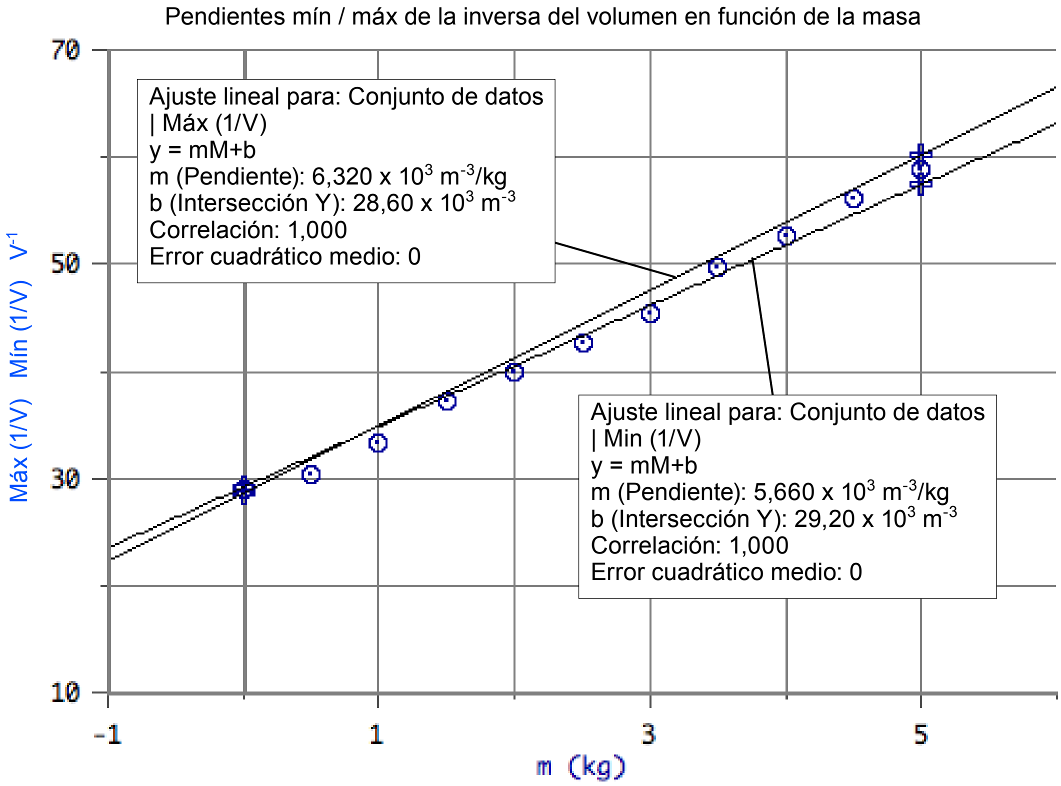
La pendiente es $= 6{,}214 \times 10^3\ \text{m}^{-3}\text{kg}^{-1}$ y así hallamos $R = \frac{g}{(\text{pendiente})AnT} = 8{,}27\ \text{J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$.

El valor experimental difiere menos del 1% del valor aceptado para R, que es 8,31 J $\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1}$. Sin embargo, esto no significa que el valor aceptado esté dentro del rango de incertidumbre del valor experimental. Para expresar correctamente nuestros resultados, en la forma $R_{\text{exp}} \pm \Delta R_{\text{exp}}$, necesitamos procesar las incertidumbres.

Se presentan las incertidumbres de la inversa del volumen para el primero y el último de los puntos graficados. Son los que usamos para trazar las barras de error sobre la segunda gráfica.

Numeración datos	$\frac{1}{V}(máx)$	$\frac{1}{V}(mín)$
#1 $28,9\times10^3 m^{-3}$	$\frac{1}{V_1+\Delta V}=28,6\times10^3\,\mathrm{m}^{-3}$	$\frac{1}{V_1-\Delta V}=29,2\times10^3\,\mathrm{m}^{-3}$
#11 $58,8\times10^3\,\mathrm{m}^{-3}$	$\frac{1}{V_{11}-\Delta V}=60,2\times10^3\,\mathrm{m}^{-3}$	$\frac{1}{V_{11}+\Delta V}=57,5\times10^3\,\mathrm{m}^{-3}$

La gráfica siguiente muestra las pendientes mínima y máxima utilizando las incertidumbres en las mediciones del volumen del primero y del último de los puntos graficados.



La pendiente máxima es $6,32\times10^3$ m^{-3} y la pendiente mínima es $5,66\times10^3$ m^{-3}. Así, el rango experimental para R es:

$$R_{\text{Mín}}=\frac{g}{(\text{pendiente}_{\text{Máx}})AnT}=8,13\ \mathrm{J\ mol^{-1}K^{-1}}$$

$$R_{\text{Máx}} = \frac{g}{(\text{pendiente}_{\text{Mín}})AnT} = 9{,}08 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$$

La incertidumbre en R es $\Delta R = \pm\frac{R_{\text{Máx}} - R_{\text{Mín}}}{2} - \frac{9{,}08 - 8{,}13}{2} \text{mol}^{-1}\text{ K}^{-1} = \pm 0{,}5 \text{ mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$

Por lo tanto, el valor experimental y su incertidumbre son:

$$R_{\text{exp}} \pm \Delta R_{\text{exp}} \approx (8{,}3 \pm 0{,}5) \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}.$$

En conclusión, el valor medido para R resultó tener una incertidumbre de aproximadamente ±6%. El rango experimental va de 7,8 a 8,8 J mol^{-1}K^{-1} e incluye el valor aceptado, donde $R_{\text{aceptado}} = 8{,}3$ J mol^{-1}K^{-1}.

Claramente, la mayor fuente de error en el experimento está en la medición del volumen. La incertidumbre de la masa es sólo una fracción del uno por ciento, la incertidumbre del área es alrededor del 0,4% y la incertidumbre de la temperatura es sólo del 0,3%. Ninguna de ellas es significativa. (Una cuestión interesante es que utilizando la intersección de la gráfica, se puede calcular un valor experimental de la presión atmosférica, resultando $1{,}02 \times 10^5$ Pa. Esto se aleja alrededor del 5% de lo medido por el barómetro.)

También se han utilizado datos cuyo valor, en lugar de medirse, se ha dado por sentado, como con el valor de g y la determinación de n, y está el problema del émbolo que se atasca y, por tanto, proporciona medidas inexactas.

La ligera pero perceptible dispersión de los datos alrededor de la recta de mejor ajuste podría mejorarse haciendo más lecturas. La utilización de una jeringuilla mucho más grande y con una escala calibrada con más precisión podría aumentar la exactitud del volumen. Esto permitiría también realizar más mediciones y ayudaría a eliminar las inexactitudes debidas a que el émbolo se atasca. Sin embargo, al realizar repetidas lecturas existe la posibilidad de que el aire se salga de la jeringuilla.

Para eliminar la dependencia de los datos que se dan por sentados, se necesita de un método alternativo que permita determinar un valor para R a partir de cantidades medidas directamente.

Finalmente, el primer punto graficado, cuando no se aplica masa, se aleja de la línea de tendencia en comparación con los datos restantes. Si excluimos este punto, la pendiente de la gráfica da un valor de R = 7,66 J $mol^{-1}K^{-1}$, que es inferior al obtenido cuando se incluye el primer punto. Tal vez la masa del émbolo o el rozamiento entre el émbolo y la jeringuilla también influyen, pero en este caso parece no tener importancia.