



Facultad de Ingeniería
División de Ciencias Básicas
Coordinación de Física y Química
Laboratorio de Química
L. de SQI - 6450



Guías para elaborar informe de práctica

PRÁCTICA 3

LEY DE CONSERVACIÓN DE LA MATERIA

Guía para trabajo con cálculos y gráficos



Guías para elaborar informe de práctica

Ley de conservación de la materia

Parte I. Reacción química con formación de un precipitado.

La metodología siguiente se empleará para determinar si se verifica la ley de conservación de la materia durante la formación del precipitado.

1. Se obtendrá la diferencia entre m_2 y m_1 :

$$\Delta m = m_1 - m_2$$

2. El valor de Δm que se obtuvo en el paso anterior, se dividirá entre m_1 y el cociente se multiplicará por 100, para así determinar el porcentaje de variación de la masa ($\% \delta_m$):

$$\% \delta_m = \frac{\Delta m}{m_1} \times 100$$

3. De acuerdo con el resultado anterior, se evaluará si la variación de la masa representa un porcentaje considerable.

Parte II. Cristalización.

La metodología siguiente se empleará para determinar si se verifica la ley de conservación de la materia al calentar el precipitado, disolverlo y recristalizarlo.

1. Se obtendrá la diferencia entre m_3 y m_4 :

$$\Delta m = m_3 - m_4$$

2. El valor de Δm que se obtuvo en el paso anterior, se dividirá entre m_3 y el cociente se multiplicará por 100, para así determinar el porcentaje de variación de la masa ($\% \delta_m$):

$$\% \delta_m = \frac{\Delta m}{m_3} \times 100$$

3. De acuerdo con el resultado anterior, se evaluará si la variación de la masa representa un porcentaje considerable.

Parte III. Reacción química con desprendimiento de un gas.

La metodología siguiente se empleará para determinar si se verifica la ley de conservación de la materia durante la reacción donde se libera gas.

1. Se obtendrá la diferencia entre m_2 y m_1 :

$$\Delta m = m_1 - m_2$$

2. El valor de Δm que se obtuvo en el paso anterior, se dividirá entre m_1 y el cociente se multiplicará por 100, para así determinar el porcentaje de variación de la masa ($\% \delta_m$):



Guías para elaborar informe de práctica

$$\% \delta_m = \frac{\Delta m}{m_1} \times 100$$

3. De acuerdo con el resultado anterior, se evaluará si la variación de la masa representa un porcentaje considerable.

Si se aplica la ley de conservación de la materia podemos estimar la masa de dióxido de carbono (CO_2) producida en el experimento. Para ello se retirará el globo, lo que ocasionará que se libere el gas, y se medirá la masa del matraz que contiene la mezcla que se obtuvo junto con el globo vacío.

Esta masa se identificará como $m_{s/gas}$, de tal forma que la masa experimental del CO_2 que se formó será la diferencia entre m_1 y $m_{s/gas}$:

$$m_{exp,CO_2} = m_1 - m_{s/gas}$$

A partir de la masa experimental de CO_2 se estimará el porcentaje de la masa de este gas que no registró la balanza. Para ello, se considerará que la Δm que se estimó durante esta actividad experimental representa la masa de CO_2 no registrada, como consecuencia de la fuerza de flotación que experimenta este gas al formarse en el seno de la disolución acuosa y al difundir en el aire:

$$\%_{CO_2, s/reg} = \frac{\Delta m}{m_{exp,CO_2}} \times 100$$

Parte del CO_2 «flota» en el agua y en el aire, por tanto, la balanza no registra la masa de esta parte del gas.

Autor:

- M. en C. Miguel Ángel Jaime Vasconcelos

Revisión:

- M. en E. Antonia del Carmen Pérez León
- Dr. Ehecatl Luis David Paleo González
- Dra. Ana Laura Pérez Martínez
- Quím. Félix Núñez Orozco
- M. en C. Alfredo Velásquez Márquez
- Quím. Esther Flores Cruz
- M. en A. Violeta Luz María Bravo Hernández



Facultad de Ingeniería
División de Ciencias Básicas
Coordinación de Física y Química
Laboratorio de Química
L. de SQI - 6450



Guías para elaborar informe de práctica

PRÁCTICA 4

PREPARACIÓN Y CONDUCTIVIDAD DE DISOLUCIONES

Guía para trabajo con cálculos y gráficos



Guías para elaborar informe de práctica

Preparación y conductividad de disoluciones

Parte I. Cálculo de la masa de soluto.

1. Cálculo de los moles de soluto.

Se calculará la cantidad de sustancia del soluto que estará disuelta en los 100 [ml] de la disolución que se preparará. Para ello se multiplicará la concentración molar por el volumen expresado en litros:

$$n_{\text{soluto}} = C_M \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right] \cdot V[\text{l}]$$

2. Cálculo de gramos de soluto.

Se determinarán los gramos que equivalen a la cantidad de sustancia del soluto que se obtuvo en el paso anterior. Para conseguir esto, se multiplicará el número de moles de soluto (n_{soluto}) por la masa molar del mismo (MM_{soluto}):

$$m_{\text{soluto}} = n_{\text{soluto}}[\text{mol}] \cdot MM_{\text{soluto}} \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right]$$

Parte II. Cálculo de la concentración molar de cada disolución diluida.

Al llevar a cabo un proceso de dilución, sólo se adiciona disolvente (agua) de tal forma que el número de moles de soluto presentes en la alícuota (volumen obtenido de la disolución madre o inicial) se mantiene constante en la disolución.

El número de moles de soluto en la alícuota corresponde con el producto de la concentración molar de la disolución original (C_{M1}) por el volumen de la alícuota (V_1):

$$n_{\text{soluto}} = C_{M1} \cdot V_1$$

Mientras que la cantidad de sustancia de soluto, al terminar de añadir el disolvente, se calcula de acuerdo con la expresión:

$$n_{\text{soluto}} = C_{M2} \cdot V_2$$

Donde C_{M2} es la concentración molar final y V_2 es el volumen total (final) de la disolución diluida.

En virtud de que la cantidad de sustancia de soluto no cambia durante la dilución, se cumple que:

$$C_{M1} \cdot V_1 = C_{M2} \cdot V_2$$

Esta ecuación se conoce como ecuación general de dilución. Para calcular la concentración molar de una disolución diluida, se despejará C_{M2} :

$$C_{M2} = \frac{C_{M1} \cdot V_1}{V_2}$$

Para las disoluciones que se trabajaron durante la práctica

- C_{M1} es la concentración de la disolución madre,



Guías para elaborar informe de práctica

- V_1 es la alícuota que se obtendrá de la disolución madre y que siempre será de 10 [ml],
- V_2 es el volumen de la disolución diluida obtenida,
- para la disolución diluida 1, $V_2 = 100$ [ml],
- para la disolución diluida 2, $V_2 = 50$ [ml], y
- para la disolución diluida 3, $V_2 = 25$ [ml].
- Se interpretará lo que se observe en las gráficas que pide la actividad 5 del **manual de prácticas**,
- se analizará la relación entre conductividad y concentración molar,
- se explicará la tendencia observada en cada gráfico, y
- se obtendrá la ecuación de la recta para cada caso.

Autor:

- M. en C. Miguel Ángel Jaime Vasconcelos

Revisión:

- M. en E. Antonia del Carmen Pérez León
- Dr. Ehecatl Luis David Paleo González
- Dra. Ana Laura Pérez Martínez
- Quím. Félix Núñez Orozco
- M. en C. Alfredo Velásquez Márquez
- Quím. Esther Flores Cruz
- M. en A. Violeta Luz María Bravo Hernández



Facultad de Ingeniería
División de Ciencias Básicas
Coordinación de Física y Química
Laboratorio de Química
L. de SQI - 6450



Guías para elaborar informe de práctica

PRÁCTICA 5

RENDIMIENTO PORCENTUAL DE UNA REACCIÓN QUÍMICA

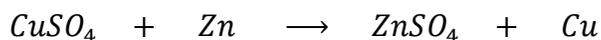
Guía 1 para trabajo con cálculos y gráficos



Guías para elaborar informe de práctica

Rendimiento porcentual de una reacción química

Una de las reacciones que se llevan a cabo en la práctica es la siguiente:



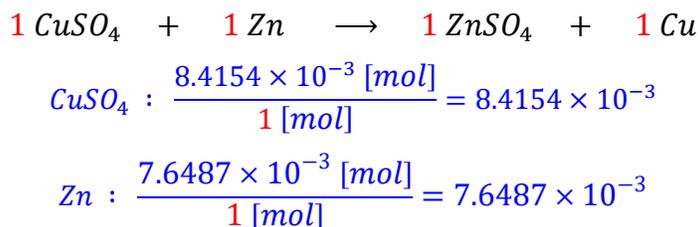
En la práctica se emplearon 1.5 [g] de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y 0.3 [g] de Zn; sin embargo, **en este ejemplo, se emplearán 2.1 [g] de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y 0.5 [g] de Zn.**

Para obtener el rendimiento de la reacción, seguimos los pasos siguientes:

1. Convertimos los gramos de cada reactivo a moles.

$$2.1 \text{ [g] } \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \left(\frac{1 \text{ [mol] } \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{249.54 \text{ [g] } \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} \right) \left(\frac{1 \text{ [mol] } \text{CuSO}_4}{1 \text{ [mol] } \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} \right) = 8.4154 \times 10^{-3} \text{ [mol] } \text{CuSO}_4$$
$$0.5 \text{ [g] } \text{Zn} \left(\frac{1 \text{ [mol] } \text{Zn}}{65.37 \text{ [g] } \text{Zn}} \right) = 7.6487 \times 10^{-3} \text{ [mol] } \text{Zn}$$

2. Identificamos al reactivo limitante dividiendo los moles de cada reactivo entre su correspondiente coeficiente estequiométrico.



En este ejemplo, el reactivo limitante resultó ser el Zn.

3. Empleamos al reactivo limitante para determinar la cantidad de producto que se obtendría para un 100 % de rendimiento.

$$7.6487 \times 10^{-3} \text{ [mol] } \text{Zn} \left(\frac{1 \text{ [mol] } \text{Cu}}{1 \text{ [mol] } \text{Zn}} \right) \left(\frac{63.54 \text{ [g] } \text{Cu}}{1 \text{ [mol] } \text{Cu}} \right) = 0.4860 \text{ [g] } \text{Cu}$$

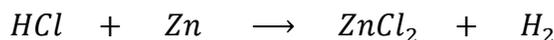
4. Comparamos la cantidad de producto anterior (0.4860 [g] Cu), con la cantidad de producto obtenida (aquí, supondremos que se obtuvieron 0.45 [g] Cu), para determinar el rendimiento porcentual de la reacción.

$$\frac{0.45 \text{ [g] } \text{Cu}}{0.4860 \text{ [g] } \text{Cu}} \times 100 = 92.59 \% \text{ de rendimiento}$$



Guías para elaborar informe de práctica

Otra de las reacciones que se llevan a cabo en la práctica es la siguiente:



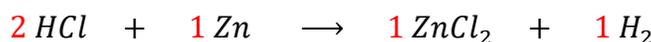
En la práctica se emplearon 0.1 [g] de Zn y 0.5 [mL] de una disolución de HCl al 37.6 % en masa ($\rho = 1.19 \left[\frac{g}{cm^3} \right]$); sin embargo, **en este ejemplo, se emplearán 0.11 [g] de Zn y 0.7 [mL] de una disolución de HCl al 37.6 % en masa ($\rho = 1.19 \left[\frac{g}{cm^3} \right]$).**

1. Convertimos las cantidades de cada reactivo a moles.

$$0.11 [g] Zn \left(\frac{1 [mol] Zn}{65.37 [g] Zn} \right) = 1.6827 \times 10^{-3} [mol] Zn$$

$$0.7 [mL] Disol. \left(\frac{1.19 [g] Disol.}{1 [mL] Disol.} \right) \left(\frac{37.6 [g] HCl}{100 [g] Disol.} \right) \left(\frac{1 [mol] HCl}{36.453 [g] HCl} \right) = 8.5921 \times 10^{-3} [mol] HCl$$

2. Identificamos al reactivo limitante dividiendo los moles de cada reactivo entre su correspondiente coeficiente estequiométrico.



$$Zn : \frac{1.6827 \times 10^{-3} [mol]}{1 [mol]} = 1.6827 \times 10^{-3}$$

$$HCl : \frac{8.5921 \times 10^{-3} [mol]}{2 [mol]} = 4.2960 \times 10^{-3}$$

En este ejemplo, el reactivo limitante nuevamente es el Zn.

3. Empleamos al reactivo limitante para determinar la cantidad de producto que se obtendría para un 100 % de rendimiento.

$$1.6827 \times 10^{-3} [mol] Zn \left(\frac{1 [mol] H_2}{1 [mol] Zn} \right) = 1.6827 \times 10^{-3} [mol] H_2$$

4. Convertimos los mililitros obtenidos de H_2 a moles, empleando la ecuación de estado del gas ideal. En este ejemplo supondremos que se obtuvieron 49 [mL] de H_2 . Consideraremos también que la temperatura a la que se encontraba el gas obtenido era de 21 [°C] y la presión de 580 [mm] Hg. De esta forma, empleando las unidades adecuadas se tiene lo siguiente:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$



Guías para elaborar informe de práctica

$$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$$

$$n = \frac{580 \text{ [mm] Hg} \left(\frac{1 \text{ [atm]}}{760 \text{ [mm] Hg}} \right) \cdot 49 \text{ [mL]} \left(\frac{1 \text{ [L]}}{1000 \text{ [mL]}} \right)}{0.08205 \left[\frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right] \cdot (21 + 273.15) \text{ [K]}} = 1.5493 \times 10^{-3} \text{ [mol] H}_2$$

5. Comparamos la cantidad de producto que se debió obtener ($1.6827 \times 10^{-3} \text{ [mol] H}_2$), con la cantidad de producto obtenida ($1.5493 \times 10^{-3} \text{ [mol] H}_2$), para determinar el rendimiento porcentual de la reacción.

$$\frac{1.5493 \times 10^{-3} \text{ [mol] H}_2}{1.6827 \times 10^{-3} \text{ [mol] H}_2} \times 100 = 92.07 \% \text{ de rendimiento}$$

Recuerde emplear los datos que usted obtuvo en el experimento para cada reacción, y no los de este ejemplo.

Cada reacción debe tener su propio reactivo limitante y rendimiento.

Autor:

- M. en C. Alfredo Velásquez Márquez

Revisión:

- M. en E. Antonia del Carmen Pérez León
- M. en C. Miguel Ángel Jaime Vasconcelos
- Dra. Ana Laura Pérez Martínez
- Quím. Félix Núñez Orozco
- Dr. Ehecatl Luis David Paleo González
- Quím. Esther Flores Cruz
- M. en A. Violeta Luz María Bravo Hernández



Facultad de Ingeniería
División de Ciencias Básicas
Coordinación de Física y Química
Laboratorio de Química
L. de SQI - 6450



Guías para elaborar informe de práctica

PRÁCTICA 5

RENDIMIENTO PORCENTUAL DE UNA REACCIÓN QUÍMICA

Guía 2 para trabajo con cálculos y gráficos



Guías para elaborar informe de práctica

Rendimiento porcentual de una reacción química

Para la descripción de la actividad 2 se necesitarán los datos siguientes:

- La masa del vaso vacío (m_1).
- La masa del vaso con el cobre que se obtuvo al final del experimento (m_2).
- La masa final de cobre que se registró (al restar $m_2 - m_1$).

Mientras que para la descripción de la actividad 3 se necesitarán los datos siguientes:

- Volumen del gas (variable).
- Temperatura del agua en la que se recolectó el gas.
- Presión atmosférica (que en Ciudad de México es de 0.769 [atm] = 77.9934 [kPa]).
- Altura de la columna de agua que queda al interior de la probeta (expresada en metros).
- Presión de vapor del agua a la temperatura del agua (buscar dato en una tabla de presión de vapor).

Parte I. Reacción de CuSO_4 con Zn.

Rendimiento teórico

1. Se calcularán los moles de cada uno de los reactivos.

a. Cantidad de sustancia de sulfato de cobre pentahidratado

Para calcular la cantidad de sustancia de sulfato de cobre (CuSO_4) se debe dividir la masa en gramos que se midió, 1.5 [g] de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), entre la masa molar de este compuesto, que es igual a 249.682 [g/mol]:

$$n_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} [\text{g}]}{MM_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right]}$$

$$n_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} = 1.5 [\text{g}] \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \times \frac{1 [\text{mol}] \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{249.682 [\text{g}] \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} = 6.0076 \times 10^{-3} [\text{mol}] \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$$

La ecuación química balanceada muestra que al disolver 1 [mol] de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ se forma 1 [mol] de CuSO_4 :



Por tanto, al final del proceso se obtendrán 6.0076×10^{-3} [mol] de CuSO_4 en disolución acuosa.

b. Cantidad de sustancia de zinc.

Para calcular la cantidad de sustancia de zinc (Zn) se efectuará el mismo procedimiento, pero ahora se empleará la masa de Zn y su masa molar:

$$n_{\text{Zn}} = \frac{m_{\text{Zn}} [\text{g}]}{MM_{\text{Zn}} \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right]}$$



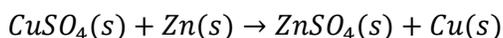
Guías para elaborar informe de práctica

$$n_{Zn} = 0.3 [g] Zn \times \frac{1 [mol] Zn}{65.38 [g] Zn} = 4.5886 \times 10^{-3} [mol] Zn$$

Al inicio se tienen 4.5886×10^{-3} [mol] de Zn.

2. Reactivo limitante

A partir de la cantidad de sustancia de $CuSO_4$ y de Zn, se identificará cuál de las dos sustancias es el reactivo limitante (RL). Como la ecuación química balanceada establece una relación estequiométrica 1:1 entre los dos reactivos, se comparará de forma directa el número de moles de ambos reactivos para definir cuál es el reactivo limitante:



Al compararlos, resulta evidente que el reactivo limitante es el Zn, pues se encuentra en menor proporción que la establecida en la ecuación química (menor número de moles de éste):

$$n_{CuSO_4} = 6 \times 10^{-3} [mol] CuSO_4 \qquad n_{Zn} = 4.5886 \times 10^{-3} [mol] Zn$$

En la ecuación química también se observa una relación estequiométrica de 1 [mol] de Zn que produce 1 [mol] de Cu, por tanto, si se ha medido el equivalente a 4.5886×10^{-3} [mol] de Zn, se espera que se produzcan, de forma teórica (n_{Cu}^{teo}), 4.5886×10^{-3} [mol] de Cu:

$$4.5886 \times 10^{-3} [mol] Zn \times \left(\frac{1 [mol] Cu}{1 [mol] Zn} \right) = 4.5886 \times 10^{-3} [mol] Cu$$

La cantidad de sustancia de cobre (n_{Cu}^{teo}) representa el rendimiento teórico del proceso.

Se considerará que también es posible evaluar el rendimiento teórico de la reacción en términos de la masa de cobre. Para conocer este dato, se convertirán los moles de Cu a masa con ayuda de su masa molar:

$$m_{Cu} = 4.5886 \times 10^{-3} [mol] Cu \times \frac{63.54 [g] Cu}{1 [mol] Cu} = 0.2915 [g] Cu$$

Esta masa de Cu también representa el rendimiento teórico.

Rendimiento experimental y porcentaje de rendimiento

Para obtener el rendimiento experimental de Cu, se calculará la cantidad de sustancia de Cu que se obtuvo, a partir de la masa que se registró de forma experimental (m_{Cu}^{exp}) al final del experimento:

$$m_{Cu}^{exp} = m_2 - m_1$$

Este valor de masa de Cu se dividirá entre su masa molar, 63.546 [g/mol], para conocer la cantidad de sustancia experimental de este material (n_{Cu}^{exp}):

$$n_{Cu}^{exp} = \frac{m_{Cu}[g]}{MM_{Cu} \left[\frac{g}{mol} \right]}$$



Guías para elaborar informe de práctica

La cantidad de sustancia experimental de Cu se considerará como el rendimiento experimental.

Por último, se calculará el rendimiento porcentual. Para ello, se dividirá el rendimiento experimental entre el rendimiento teórico y este cociente se multiplicará por 100:

$$\% \text{ Rendimiento} = \left(\frac{n_{Cu}^{exp}}{n_{Cu}^{teo}} \right) \times 100$$

Parte II. Reacción de Zn con HCl.

Rendimiento teórico

1. Rendimiento teórico de hidrógeno.

En primer lugar, se calcularán los moles de cada uno de los reactivos: n_{Zn} y n_{HCl} .

Para calcular la cantidad de sustancia de Zn se dividirá la masa que se midió de este material, expresada en gramos, entre su masa molar, 65.38 [g/mol]:

$$n_{Zn} = \frac{m_{Zn} [g]}{MM_{Zn} \left[\frac{g}{mol} \right]}$$
$$n_{Zn} = 0.1 [g] Zn \times \frac{1 [mol] Zn}{65.38 [g] Zn} = 1.529 \times 10^{-3} [mol] Zn$$

El número de moles iniciales de Zn (n_{Zn}) es 1.529×10^{-3} [mol]. Para calcular la cantidad de sustancia de ácido clorhídrico (HCl) se tomará en cuenta que se utilizó una disolución acuosa al 37.6 % en masa de esta sustancia (es decir, una mezcla HCl:H₂O) cuya densidad es de 1.19 [g/ml].

A partir de estos datos se calculará la concentración molar de la disolución, de acuerdo con la metodología siguiente:

a. Primero se asumirá que la densidad de la disolución es una relación entre la masa y el volumen para la mezcla total HCl:H₂O, que informa que a 1 [ml] de la disolución le corresponde una masa de 1.19 [g]. Así, por cada 1 [ml] de la mezcla, existen 1.19[g] de mezcla, pero de ésta sólo el 37.6 % de la masa es de HCl y el resto es H₂O. Lo anterior se expresa de forma matemática como:

$$\frac{1.19 [g]_{disolución}}{1 [ml]_{disolución}} \times \frac{37.6 [g] HCl}{100 [g]_{disolución}} = 0.4474 \left[\frac{[g] HCl}{[ml]_{disolución}} \right]$$

b. A continuación, se convertirá la masa de HCl a cantidad de sustancia. Para ello, se divide la masa de HCl, 0.4474 [g], entre la masa molar de HCl, que es de 36.461 [g/mol]:

$$n_{HCl} = \frac{m_{HCl} [g]}{MM_{HCl} \left[\frac{g}{mol} \right]}$$



Guías para elaborar informe de práctica

$$\frac{0.4474 [g] HCl}{1 [ml]_{disolución}} \times \frac{1 [mol] HCl}{36.461 [g] de HCl} = 0.0123 \left[\frac{[mol] HCl}{[ml]_{disolución}} \right]$$

Por tanto, se hay disueltos 0.0123 [mol] de HCl en 1 [ml] de la disolución de HCl con una concentración de 36.7 % [m/m].

c. Ahora bien, la concentración molar indica la cantidad de sustancia de un soluto disuelto en un litro de disolución de la que forma parte. Lo que se ha calculado hasta el momento es una relación de la cantidad de sustancia de soluto disuelta en 1 [ml] de disolución. Por tanto, si 1 [l] contiene 1000 [ml], entonces:

$$\frac{0.0123 [mol] HCl}{[ml]_{disolución}} \times \frac{1000 [ml]_{disolución}}{1 [l]_{disolución}} = 12.3 \frac{[mol] HCl}{[l]_{disolución}}$$

Es decir, 1 [l] de disolución contiene 12.3 [mol] de HCl disueltos. Por lo que la concentración molar de la disolución de HCl que se usó durante la actividad experimental es 12.3 [mol/l] o 12.3 [M].

Una vez que se obtuvo la concentración molar, se calculará la cantidad de sustancia de HCl que reaccionará, si se sabe que el volumen de la disolución 12.3 [M] de HCl que se añadió es de 0.5 [ml].

En general, para una disolución, la cantidad de sustancia se calculará al multiplicar el volumen que se usó de la misma, expresado en [l], por la concentración molar de la disolución:

$$n_{HCl} = C_M V$$

$$n_{HCl} = 12.3 \left[\frac{[mol] HCl}{[l]_{disolución}} \right] \times 0.5 \times 10^{-3} [l]_{disolución} = 6.15 \times 10^{-3} [mol] HCl$$

Así, en 0.5 [ml] de la disolución concentrada de HCl, existen 6.15×10^{-3} [mol] de HCl.

2. Reactivo limitante.

A partir de la cantidad de sustancia de Zn y HCl se identificará cuál de ellos es el reactivo limitante. Para ello, se analizará la ecuación química del proceso y se identificarán los coeficientes estequiométricos de cada reactivo:



La ecuación muestra que por cada mol de Zn reaccionan dos moles de HCl.

Para identificar de manera rápida al reactivo limitante, se dividirán los valores de cantidad de sustancia calculados en el punto 1, para cada reactivo, entre el coeficiente estequiométrico que le corresponde. Con ello se evaluará, mol a mol, las cantidades de cada uno de los reactivos.

Para el caso del Zn, se dividirán los 1.529×10^{-3} [mol] entre 1 [mol], ya que el coeficiente estequiométrico del Zn es 1:

$$\alpha_{Zn} = \frac{1.529 \times 10^{-3} [mol]}{1 [mol]} = 1.529 \times 10^{-3}$$

Para HCl se dividirán las 6.05×10^{-3} [mol] entre 2 [mol], ya que el coeficiente estequiométrico del HCl es 2:



Guías para elaborar informe de práctica

$$\alpha_{HCl} = \frac{6.15 \times 10^{-3} [mol]}{2 [mol]} = 3.075 \times 10^{-3}$$

El reactivo limitante será aquél cuyo cociente α sea más pequeño. Como se observa en los cálculos, el cociente (α) es menor para el Zn, por lo que éste es el reactivo limitante.

El reactivo limitante es la sustancia que se consume primero y es la que «limita» la cantidad de los productos que se obtendrán, es decir, la cantidad que se obtendrá de un producto depende de la cantidad de reactivo limitante. De esta manera, la cantidad máxima de H_2 que se formará dependerá de la cantidad de reactivo limitante que haya disponible.

Como se dispone de 1.529×10^{-3} [mol] de Zn y por cada mol de Zn se produce 1 [mol] de H_2 , se tiene que:

$$n_{H_2} = n_{Zn} \left(\frac{1 [mol] H_2}{1 [mol] Zn} \right)$$
$$n_{H_2} = 1.529 \times 10^{-3} [mol] Zn \times \left(\frac{1 [mol] H_2}{1 [mol] Zn} \right) = 1.529 \times 10^{-3} [mol] H_2$$

Entonces se producirán 1.529×10^{-3} [mol] de H_2 . Esta es la cantidad de hidrógeno ($n_{H_2}^{teo}$) que se espera obtener y es el rendimiento teórico.

Rendimiento experimental y porcentaje de rendimiento

Para obtener el rendimiento experimental (cantidad de sustancia experimental de hidrógeno, $n_{H_2}^{exp}$) se necesitarán los datos experimentales siguientes:

1. Volumen del gas producido (medido en la probeta): V_{gas} .
2. Temperatura ambiente: $T_{ambiente}$.
3. Temperatura a la que se encuentra el agua en la que fue recolectado el gas: T_{agua} .
4. Altura de la columna de agua: h .

El volumen de gas, junto con la temperatura ambiente, se usarán para calcular la cantidad de sustancia de H_2 que se obtuvo de forma experimental, con ayuda de la ecuación de Clapeyron-Mendeleiev:

$$PV = nRT$$

De donde se despejará a n , como la cantidad de sustancia de H_2 ; además, hay que tener presente que P es la presión del gas, por lo que se indicará como P_{H_2} :

$$n_{H_2} = \frac{P_{H_2} V_{gas}}{RT}$$

Sin embargo, la presión del H_2 que se formó no es un dato experimental explícito y debe calcularse. Para ello, hay que tener presente que al término de la actividad experimental se cumple que la presión atmosférica (P_{atm}) se iguala tanto con la presión del gas obtenido (P_{gas}) como con la presión hidrostática de la columna de agua ($P_{hidrostática}$) en la probeta donde se colectó el gas.



Guías para elaborar informe de práctica

De acuerdo con la matemática, esto se expresará como:

$$P_{atm} = P_{gas} + P_{hidrostática}$$

Pero además, la presión del gas que hay dentro de la probeta depende de la presión de hidrógeno y de la presión de vapor de agua ($P_{vapor_{H_2O}}$) de acuerdo con la ley de presiones parciales de Dalton. Es decir:

$$P_{gas} = P_{H_2} + P_{vapor_{H_2O}}$$

Así, la presión atmosférica realmente se igualará con la presión de hidrógeno, la presión de vapor de agua y con la presión hidrostática de la columna de agua:

$$P_{atm} = P_{H_2} + P_{vapor_{H_2O}} + P_{hidrostática}$$

De esta ecuación se despejará la P_{H_2} :

$$P_{H_2} = P_{atm} - P_{vapor_{H_2O}} - P_{hidrostática}$$

La presión atmosférica, la presión de vapor de agua y la presión hidrostática son valores que podemos conocer.

- La presión atmosférica tiene un valor de 0.769 [atm] en Ciudad de México.
- La presión de vapor del agua es un dato que se encuentra definido para una determinada temperatura. En este caso, la temperatura corresponde con la que se midió para el agua durante la actividad experimental (T_{agua}), mientras que el valor de la presión de vapor está disponible en www.edutics.mx/GyF.
- La presión hidrostática se calculará con la expresión $P_{hidrostática} = \rho \cdot g \cdot h$, donde ρ es la densidad del agua a la temperatura de trabajo ($\rho = 1000$ [Kg/m³] a 4 [°C]), g es la aceleración gravitatoria ($g = 9.779$ [m/s²] en Ciudad de México, y h es la altura de la columna de agua en metros.

El resultado de la presión hidrostática se obtendrá en [Pa]; por ello, es necesario convertir las unidades, para que coincidan con los casos de la presión atmosférica y de la presión de vapor del agua, de acuerdo con:

$$n_{H_2,exp} = \frac{P_{H_2} V_{gas}}{RT}$$

Por último, estos datos se usarán para calcular el porcentaje de rendimiento:

$$\% \text{ Rendimiento} = \left(\frac{n_{H_2}^{exp}}{n_{H_2}^{teo}} \right) \times 100$$



Facultad de Ingeniería
División de Ciencias Básicas
Coordinación de Física y Química
Laboratorio de Química
L. de SQI - 6450



Guías para elaborar informe de práctica

Autor:

- Dr. Ehecatl Luis David Paleo González

Revisión:

- M. en E. Antonia del Carmen Pérez León
- M. en C. Miguel Ángel Jaime Vasconcelos
- Dra. Ana Laura Pérez Martínez
- Quím. Félix Núñez Orozco
- M. en C. Alfredo Velásquez Márquez
- Quím. Esther Flores Cruz
- M. en A. Violeta Luz María Bravo Hernández



Facultad de Ingeniería
División de Ciencias Básicas
Coordinación de Física y Química
Laboratorio de Química
L. de SQI - 6450



Guías para elaborar informe de práctica

PRÁCTICA 5

RENDIMIENTO PORCENTUAL DE UNA REACCIÓN QUÍMICA

Guía 3 para trabajo con cálculos y gráficos



Guías para elaborar informe de práctica

Rendimiento porcentual de una reacción química

Parte I. Reacción de CuSO_4 con Zn.

1. Se explicará el cálculo de rendimiento experimental de cobre (Cu), es decir, la cantidad de sustancia que se obtendrá de este material de forma experimental.
2. Se explicará el cálculo del rendimiento teórico de cobre, es decir, la cantidad de sustancia que se obtendrá de este material de forma teórica. Para ello
 - se transformarán las cantidades de reactivos a moles,
 - se identificará el reactivo limitante, y
 - se usará la relación estequiométrica entre el reactivo limitante y el cobre para obtener la cantidad de sustancia «teórica» de este material.
3. A partir del rendimiento experimental y del rendimiento teórico, se calculará el rendimiento porcentual de la reacción.

Cálculo del rendimiento experimental de cobre

El rendimiento experimental de cobre ($n_{\text{Cu,exp}}$) es la cantidad de sustancia de Cu que se obtuvo durante la actividad experimental. Para ello se llevará a cabo la metodología siguiente:

1. Se determinará la masa de cobre que se obtuvo durante la actividad experimental ($m_{\text{Cu,exp}}$):

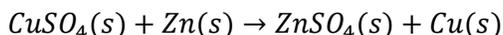
$$m_{\text{Cu,exp}} = m_2 - m_1$$

2. Se dividirá la masa experimental de cobre entre su masa molar:

$$n_{\text{Cu,exp}} = \frac{m_{\text{Cu,exp}}}{MM_{\text{Cu}}}$$

Cálculo del rendimiento teórico de cobre

El rendimiento teórico de cobre ($n_{\text{Cu,teo}}$) es la cantidad de sustancia de Cu que se obtuvo de acuerdo con las cantidades de reactivos que se usaron y las relaciones estequiométricas que indica la ecuación química:



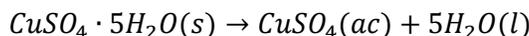
La metodología siguiente muestra la forma en que se obtendrá el rendimiento teórico de cobre.

1. Obtención de la cantidad de sustancia de cada uno de los reactivos.
 - a. Cantidad de sustancia de CuSO_4 .



Guías para elaborar informe de práctica

La cantidad de sustancia de sulfato de cobre anhidro (CuSO_4) se determinará con ayuda de la masa molar de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), debido a que la cantidad de sustancia de este material es igual a la cantidad de sustancia de CuSO_4 , de acuerdo con lo que se expresa en la ecuación química que describe la disolución de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:



Por último, para obtener la cantidad de sustancia de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($n_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}$) se dividirá la masa de sulfato de cobre pentahidratado entre su masa molar:

$$n_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}}{MM_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}}$$

Una vez que se discutió y comprendió que la cantidad de sustancia de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y de CuSO_4 son iguales, se sustituirá de aquí en adelante $n_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}$ por n_{CuSO_4} .

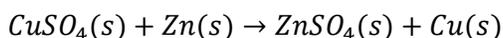
b. Cantidad de sustancia de Zn.

Para obtener la cantidad de sustancia de Zn (n_{Zn}) se dividirá la masa de este material entre su masa molar:

$$n_{\text{Zn}} = \frac{m_{\text{Zn}}}{MM_{\text{Zn}}}$$

2. Identificación del reactivo limitante.

Para determinar el reactivo limitante (RL) del proceso, se dividirá la cantidad de sustancia obtenida con anterioridad entre el coeficiente estequiométrico que le corresponde, de acuerdo con la ecuación química:



El reactivo con el menor cociente será el reactivo limitante:

$$\frac{n_{\text{CuSO}_4}}{1 [\text{mol}]} = x \qquad \frac{n_{\text{Zn}}}{1 [\text{mol}]} = y$$

Si $x < y$ entonces el CuSO_4 es el reactivo limitante; si $y < x$, entonces el Zn es el reactivo limitante.

3. Cantidad de sustancia «teórica» de cobre.

En este caso se tienen dos casos posibles:

$$n_{\text{CuSO}_4} \times \left(\frac{1 [\text{mol}] \text{ Cu}}{1 [\text{mol}] \text{ CuSO}_4} \right) = n_{\text{Cu,teo}}$$

$$n_{\text{Zn}} \times \left(\frac{1 [\text{mol}] \text{ Cu}}{1 [\text{mol}] \text{ Zn}} \right) = n_{\text{Cu,teo}}$$

Caso 1, cuando el CuSO_4 es el reactivo limitante.

Caso 2, cuando el Zn es el reactivo limitante.

Se elegirá el caso que corresponda con los cálculos que se obtuvieron.

4. Rendimiento porcentual.



Guías para elaborar informe de práctica

Para obtener el rendimiento porcentual (% Rendimiento) del proceso, el rendimiento experimental se dividirá entre el rendimiento teórico y el resultado de este cociente se multiplicará por 100:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{n_{Cu,exp}}{n_{Cu,teo}} \times 100$$

Una vez que se determinó el rendimiento porcentual de la reacción, se analizará el resultado y se explicará el porqué de este resultado.

Parte II. Reacción de Zn con HCl.

1. Se explicará el cálculo de rendimiento experimental de hidrógeno (H_2), es decir, la cantidad de sustancia que se obtendrá de este gas de forma experimental.
2. Se explicará el cálculo del rendimiento teórico de H_2 , es decir, la cantidad de sustancia que se obtendrá de este gas de forma teórica. Para ello
 - se transformarán las cantidades de reactivos a moles,
 - se identificará el reactivo limitante (RL), y
 - se usará la relación estequiométrica entre el reactivo limitante y el H_2 para obtener la cantidad de sustancia «teórica» de este gas.
3. A partir del rendimiento experimental y del rendimiento teórico, se calculará el rendimiento porcentual de la reacción.

Cantidad de sustancia experimental de hidrógeno

Primero se calculará la presión real de H_2 . Para ello, se realizará el balance de presiones que se muestra a continuación:

$$P_{atm} = P_{gas} + P_{hidrostática}$$

En donde:

$$P_{gas} = P_{H_2} + P_{V(H_2O)}$$

De tal manera que:

$$P_{atm} = P_{H_2} + P_{V(H_2O)} + P_{hidrostática}$$

Por otro lado, de la actividad experimental se conocen las variables siguientes:

Presión atmosférica (P_{atm}), igual a 585 [mmHg].

Presión hidrostática ($P_{hidrostática}$), que se obtiene a partir de la altura de la columna de agua (h), de su densidad (ρ) y de la aceleración de la gravedad (g), por medio de la relación:



Guías para elaborar informe de práctica

$$P_{hidrostática} = \rho g h \times \left(\frac{760 \text{ mmHg}}{101325 \text{ Pa}} \right)$$

En donde el factor $\left(\frac{760 \text{ [mmHg]}}{101325 \text{ [Pa]}} \right)$ se aplica para convertir [Pa] a [mmHg], $\rho = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ y $g = 9.78 \text{ [m/s}^2\text{]}$.

Presión de vapor de agua ($P_{V(H_2O)}$), que es un dato que se conoce a partir de la temperatura de trabajo (tabla 1).

Tabla 1.

T [°C]	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
P [mmHg]	9.209	9.844	10.518	11.231	11.987	12.788	13.634	14.530	15.477	16.477
T [°C]	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
P [mmHg]	17.535	18.650	19.827	21.068	22.377	23.756	25.209	26.739	28.349	31.824

De esta forma, la presión de H_2 se calculará a partir de:

$$P_{H_2} = P_{atm} - P_{V(H_2O)} - P_{hidrostática}$$

$$P_{H_2} = 585 \text{ [mmHg]} - P_{V(H_2O)} - \left[1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times h \times \left(\frac{760 \text{ [mmHg]}}{101325 \text{ [Pa]}} \right) \right]$$

El resultado de P_{H_2} se obtendrá en [mmHg], por lo que será necesario convertir este resultado a [atm].

Con este dato (P_{H_2}), la temperatura (T) y el volumen del gas (V), se determinará la cantidad de sustancia experimental de H_2 , a través de la ecuación de Clapeyron-Mendeleiev:

$$n_{H_2,exp} = \frac{P_{H_2} \cdot V}{RT}$$

Cantidad de sustancia «teórica» de hidrógeno

1. Se calculará la cantidad de sustancia de cada uno de los reactivos.

El rendimiento teórico se calculará a partir de las cantidades de reactivos que se usaron durante la actividad experimental. Se usó una masa de zinc (Zn) de 0.1 [g] y un volumen de 0.5 [cm³] de ácido clorhídrico (HCl) concentrado, cuya densidad es de 1.19 [g/cm³] y que se encuentra al 37 [%] en masa.

a. Cantidad de sustancia de Zn.

Se dividirá la masa de Zn entre la masa molar de este material:

$$n_{Zn} = \frac{m_{Zn}}{MM_{Zn}} = \frac{0.1 \text{ [g]}}{65.38 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1.53 \times 10^{-3} \text{ [mol] Zn}$$

b. Cantidad de sustancia de HCl.



Guías para elaborar informe de práctica

Primero se convertirá la concentración porcentual en masa de HCl a concentración molar:

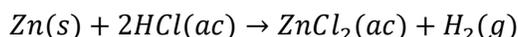
$$C_M = \frac{\left(\frac{\% m/m}{100}\right) \left(\rho_{disolución} \left[\frac{g}{cm^3}\right]\right) \left(\frac{1000 [cm^3]}{1 [l]}\right)}{MM_{soluto} \left[\frac{g}{mol}\right]}$$
$$C_M = \frac{\left(\frac{37}{100}\right) \left(1.19 \left[\frac{g}{cm^3}\right]\right) \left(\frac{1000 cm^3}{1 l}\right)}{36.461 \left[\frac{g}{mol}\right]} = 12.07 [M]$$

A partir de la concentración molar se calculará la cantidad de sustancia de HCl. Para ello, se multiplicará la concentración molar por el volumen de disolución que se usó:

$$n_{HCl} = C_{M HCl} \times V_{HCl} = 12.076 \left[\frac{mol}{l}\right] \times 0.5 \times 10^{-3} [l] = 6.038 \times 10^{-3} [mol] HCl$$

2. Reactivo limitante.

En virtud de que el proceso se lleva a cabo a partir de dos reactivos, se determinará cuál de ellos es el reactivo limitante. Para conseguirlo, se dividirá la cantidad de sustancia de cada reactivo entre el coeficiente estequiométrico que corresponde a cada uno, de acuerdo con la ecuación química:



El reactivo con el menor cociente será el reactivo limitante:

$$\alpha_{Zn} = \frac{1.53 \times 10^{-3} [mol]}{1 [mol]} = 1.53 \times 10^{-3} \quad \alpha_{HCl} = \frac{6.038 \times 10^{-3} [mol]}{2 [mol]} = 3.019 \times 10^{-3}$$

El cociente α es más pequeño para el Zn, por tanto, éste es el reactivo limitante.

3. Cantidad de sustancia «teórica» de hidrógeno.

De acuerdo con lo anterior, la cantidad de H_2 que se producirá depende de la cantidad de sustancia de Zn:

$$n_{H_2} = 1.53 \times 10^{-3} [mol] Zn \times \left(\frac{1 [mol] H_2}{1 [mol] Zn}\right) = 1.53 \times 10^{-3} [mol] H_2$$

Este será el rendimiento teórico.

4. Rendimiento porcentual.

Para obtener el rendimiento porcentual (% Rendimiento) del proceso, el rendimiento experimental se dividirá entre el rendimiento teórico y el resultado de este cociente se multiplicará por 100:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Rendimiento experimental}}{\text{Rendimiento teórico}} \times 100 = \frac{\text{Rendimiento experimental}}{1.53 \times 10^{-3} [mol]} \times 100$$



Facultad de Ingeniería
División de Ciencias Básicas
Coordinación de Física y Química
Laboratorio de Química
L. de SQI - 6450



Guías para elaborar informe de práctica

Una vez que se determinó el rendimiento porcentual de la reacción, se analizará el resultado y se explicará el porqué de este resultado.

Autor:

- M. en C. Miguel Ángel Jaime Vasconcelos

Revisión:

- M. en E. Antonia del Carmen Pérez León
- Dr. Ehecatl Luis David Paleo González
- Dra. Ana Laura Pérez Martínez
- Quím. Félix Núñez Orozco
- M. en C. Alfredo Velásquez Márquez
- Quím. Esther Flores Cruz
- M. en A. Violeta Luz María Bravo Hernández



Facultad de Ingeniería
División de Ciencias Básicas
Coordinación de Física y Química
Laboratorio de Química
L. de SQI - 6450



Guías para elaborar informe de práctica

PRÁCTICA 6

TERMOQUÍMICA.

ENTALPÍA DE DISOLUCIÓN

Guía 1 para trabajo con cálculos y gráficos



Guías para elaborar informe de práctica

Termoquímica. Entalpía de una disolución

En este ejemplo, se empearán los datos de la tabla siguiente para el reactivo CaCl_2 .

Paso	m [g] CaCl_2 adionados	m [g] CaCl_2 to-tales	T_{inicial}^* [°C]	T_{final} [°C]	ΔT [°C]
1	0	0	21	21	0
2	1	1	21	23	2
3	2	3	21	28	7
4	3	6	21	35	14
5	4	10	21	44	23
6	5	15	21	56	35

Los datos en azul serían los obtenidos experimentalmente, supuestamente.

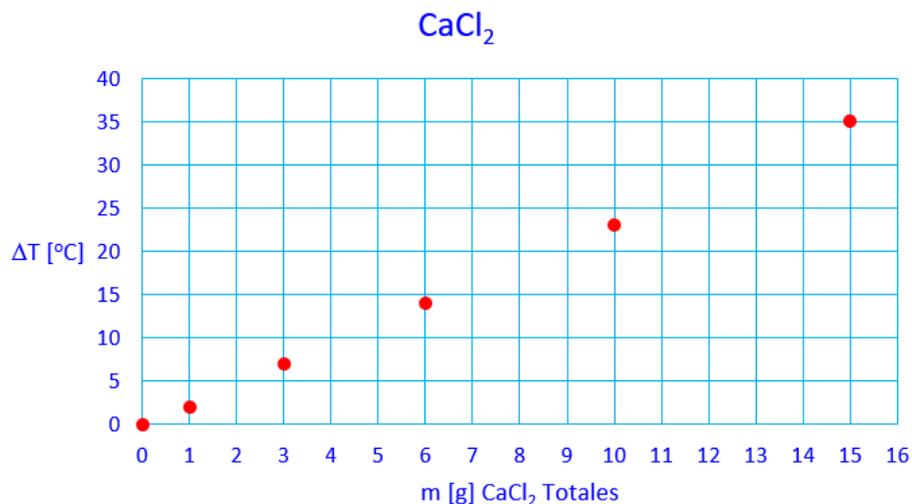
Con los datos de cada reactivo se desarrollan los puntos de la actividad 5.

Para el caso del CaCl_2 :

1. Se observa que la temperatura aumenta; por lo tanto, el signo de la entalpía sería negativo.

2. Se grafican ΔT vs [g] totales adicionados.

m [g] CaCl_2 Totales	ΔT [°C]
0	0
1	2
3	7
6	14
10	23
15	35



3. Se obtiene el valor de la pendiente y la ordenada al origen empleando el método de mínimos cuadrados:

$$\text{Pendiente} = 2.3346 \left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{g}} \right]$$

$$\text{Ordenada al origen} = -0.1188 \text{ [}^\circ\text{C]}$$



Guías para elaborar informe de práctica

Con la pendiente y la ordenada al origen se obtiene el modelo matemático.

$$\Delta T [^{\circ}\text{C}] = \left(2.3346 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{g}} \right] \right) m [\text{g}] - 0.1188 [^{\circ}\text{C}]$$

Recuerde emplear los datos que usted obtuvo en el experimento para cada reactivo, y no los de este ejemplo.

Cada reactivo debe tener su propia gráfica y modelo matemático.

Autor:

- M. en C. Alfredo Velásquez Márquez

Revisión:

- M. en E. Antonia del Carmen Pérez León
- M. en C. Miguel Ángel Jaime Vasconcelos
- Dra. Ana Laura Pérez Martínez
- Quím. Félix Núñez Orozco
- Dr. Ehecatl Luis David Paleo González
- Quím. Esther Flores Cruz
- M. en A. Violeta Luz María Bravo Hernández



Facultad de Ingeniería
División de Ciencias Básicas
Coordinación de Física y Química
Laboratorio de Química
L. de SQI - 6450



Guías para elaborar informe de práctica

PRÁCTICA 6

TERMOQUÍMICA.

ENTALPÍA DE DISOLUCIÓN

Guía 2 para trabajo con cálculos y gráficos



Guías para elaborar informe de práctica

Termoquímica. Entalpía de una disolución

Se determinará el signo de la entalpía asociada a cada proceso de disolución, de acuerdo con la convención siguiente:

Si un sistema libera energía hacia su entorno, como se muestra en la figura 1, entonces se considera que la entalpía asociada al proceso es de valor negativo. Esto se debe a que nuestra referencia, el sistema, pierde dicha energía y al final del proceso posee menor energía que al inicio.

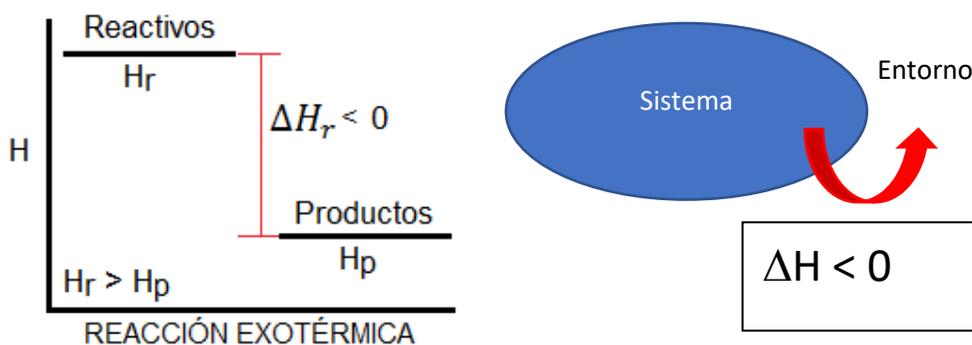


Figura 1. Proceso exotérmico.

En cambio, si el sistema absorbe energía de su entorno, como se observa en la figura 2, entonces la entalpía asociada al proceso adquiere un valor positivo. Esto porque el sistema gana energía y al finalizar el proceso posee mayor energía que al inicio del mismo.

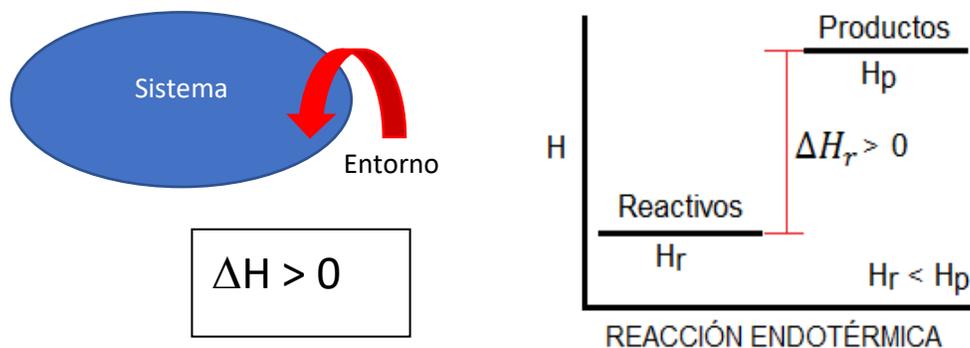


Figura 2. Proceso endotérmico.

En una reacción química o en un proceso de disolución el sistema es el conjunto de sustancias que se transforma.

Con los datos que se obtuvieron durante los procesos de disolución de cloruro de calcio (CaCl_2) y de nitrato de amonio (NH_4NO_3) se diseñará una gráfica para cada soluto. Al trazar la gráfica se considerarán como datos de las abscisas a los valores de la masa acumulada de sal (masa total agregada) mientras que para el eje de las ordenadas se usarán los valores de ΔT , como se observa en la figura 3.



Guías para elaborar informe de práctica

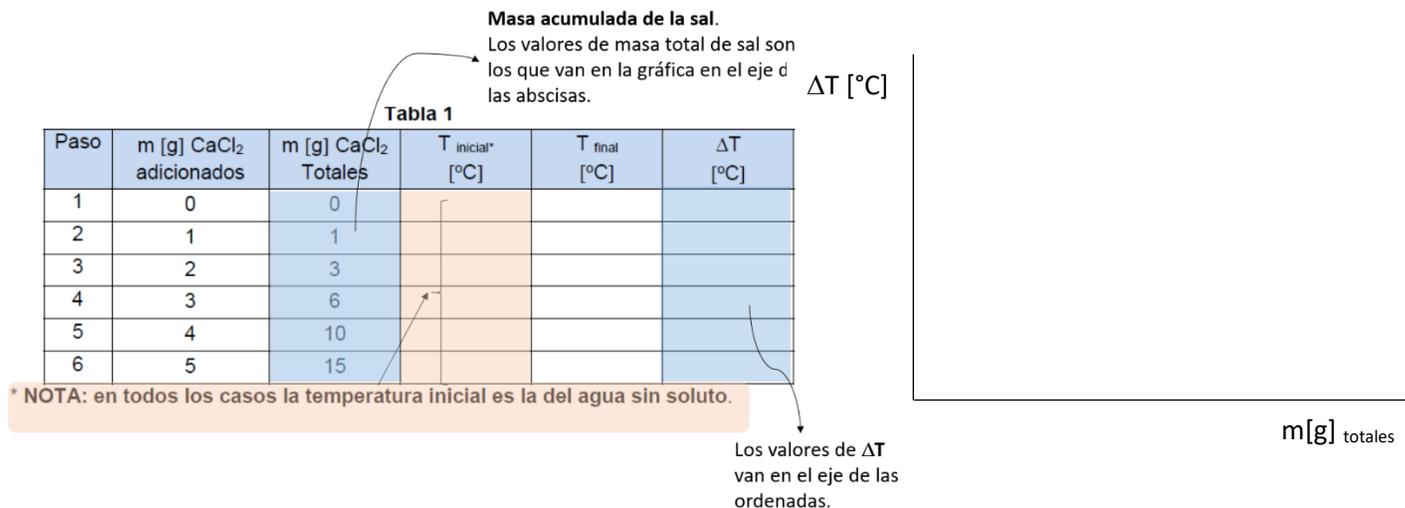


Figura 3. Esquema para trazar la gráfica.

Una vez que se trazó la gráfica, se hará el ajuste de los datos por medio de una regresión lineal o por el método de mínimos cuadrados, con el cual se obtendrá la ecuación de la línea recta y se responderán los puntos 4 y 5 de la actividad 5 del [manual de prácticas](#).

En el análisis de resultados se explicará el porqué de la asignación del signo de la entalpía de disolución para cada sal. Al mismo tiempo, esto se vinculará con el signo de la pendiente que se obtuvo para cada gráfica. En otras palabras, se explicará cuál es la relación entre el signo de ΔH del proceso y el signo de la pendiente que se muestra en la gráfica que corresponde.

Autor:

- M. en C. Miguel Ángel Jaime Vasconcelos

Revisión:

- M. en E. Antonia del Carmen Pérez León
- Dr. Ehecatl Luis David Paleo González
- Dra. Ana Laura Pérez Martínez
- Quím. Félix Núñez Orozco
- M. en C. Alfredo Velásquez Márquez
- Quím. Esther Flores Cruz
- M. en A. Violeta Luz María Bravo Hernández



Facultad de Ingeniería
División de Ciencias Básicas
Coordinación de Física y Química
Laboratorio de Química
L. de SQI - 6450



Guías para elaborar informe de práctica

PRÁCTICA 7

TITULACIÓN ÁCIDO-BASE

Guía para trabajo con cálculos y gráficos



Guías para elaborar informe de práctica

Titulación ácido-base

En este ejemplo, se emplearán los datos de la tabla siguiente:

Volumen de NaOH 0.11 [M] adicionado [mL]	pH	Volumen de NaOH 0.11 [M] adicionado [mL]	pH
0.0	3.02	15.5	5.37
0.5	3.32	16.0	5.44
1.0	3.54	16.5	5.53
1.5	3.71	17.0	5.62
2.0	3.83	17.5	5.74
2.5	3.94	18.0	5.90
3.0	4.03	18.5	6.12
3.5	4.11	19.0	6.55
4.0	4.18	19.5	10.54
4.5	4.24	20.0	11.10
5.0	4.30	20.5	11.33
5.5	4.36	21.0	11.48
6.0	4.41	21.5	11.59
6.5	4.46	22.0	11.67
7.0	4.51	22.5	11.74
7.5	4.56	23.0	11.80
8.0	4.61	23.5	11.86
8.5	4.65	24.0	11.90
9.0	4.7	24.5	11.94
9.5	4.74	25.0	11.98
10.0	4.79	25.5	12.01
10.5	4.83	26.0	12.04
11.0	4.11	26.5	12.07
11.5	4.93	27.0	12.10
12.0	4.97	27.5	12.12
12.5	5.02	28.0	12.14
13.0	5.07	28.5	12.16
13.5	5.12	29.0	12.18
14.0	5.18	29.5	12.20
14.5	5.24	30.0	12.22
15.0	5.30		

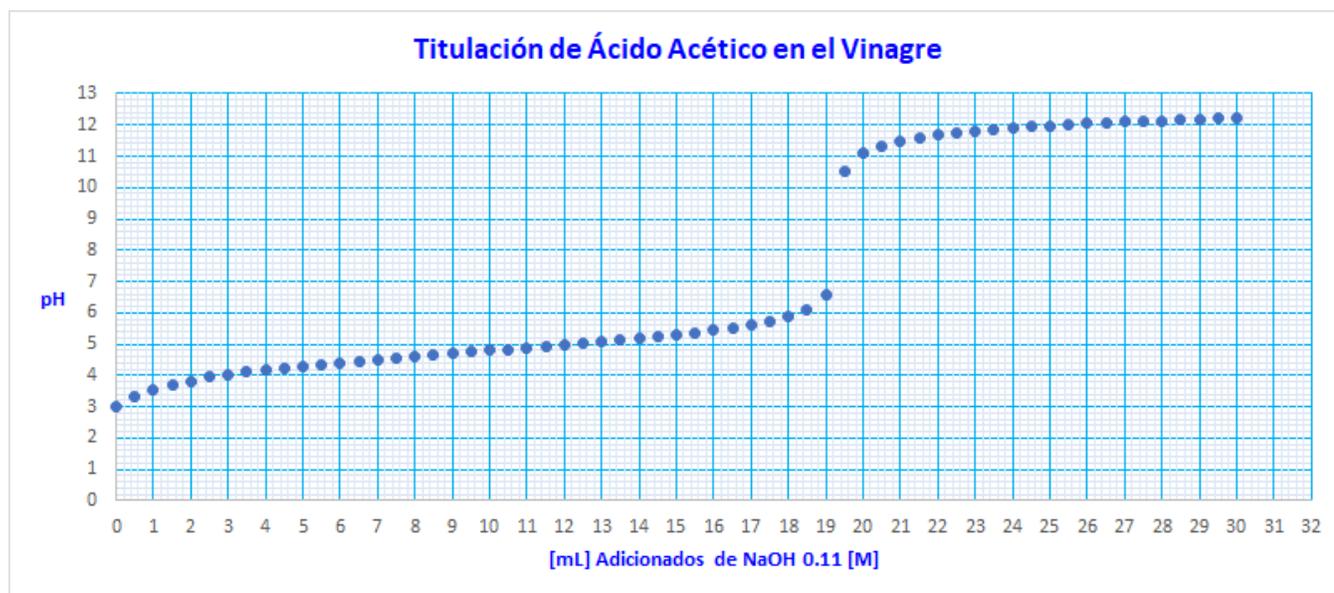
Donde se emplearon 3 [mL] de vinagre y una disolución 0.11 [M] de NaOH hasta completar un volumen total adicionado de 30 [mL]. Recuerden que, en la práctica, ustedes emplearon una disolución 0.1 [M] de NaOH y completaron hasta 40 [mL].



Guías para elaborar informe de práctica

Con los datos de la tabla anterior, se elabora una gráfica, teniendo los [mL] de disolución adicionados en el eje de abscisas y el pH en el eje de las ordenadas. Esta gráfica la pueden hacer en papel milimetrado o en Excel.

Yo la hice en Excel y me quedó lo siguiente:

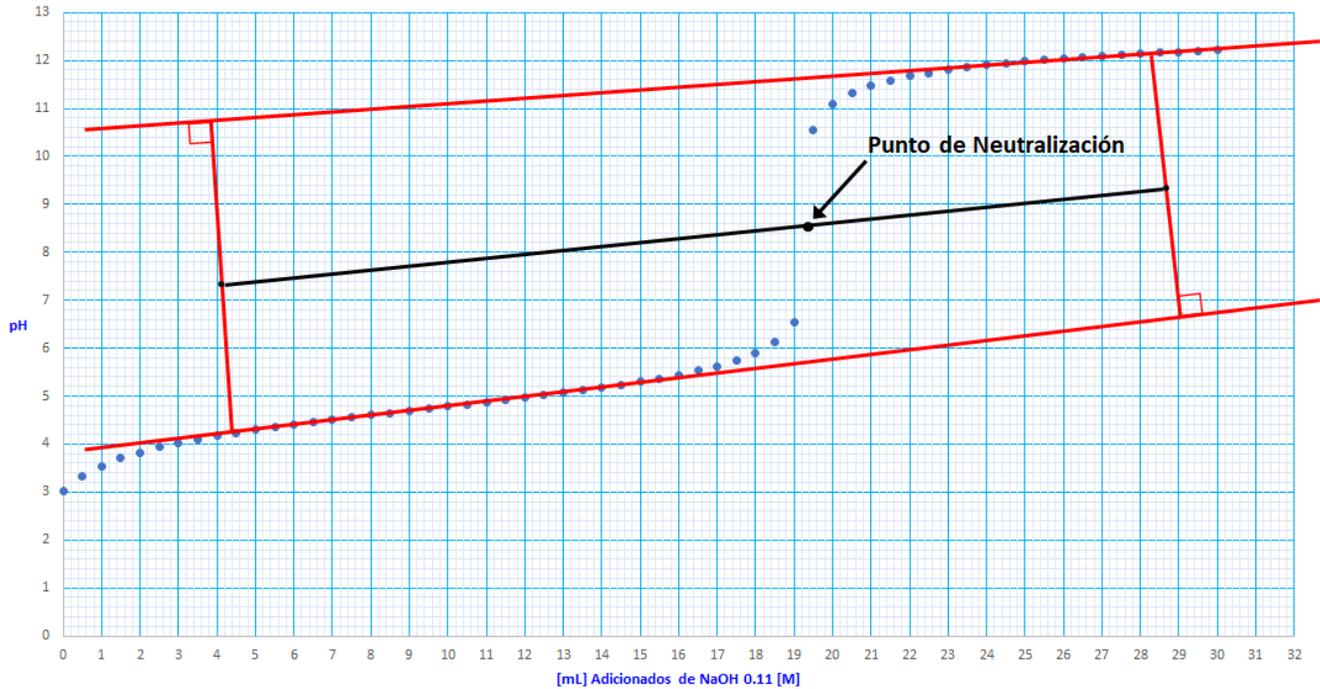


En esta gráfica, se realizan los trazos necesarios para obtener el punto de neutralización, tal como se describe en el apéndice de la práctica. En mi caso, se obtiene lo siguiente:



Guías para elaborar informe de práctica

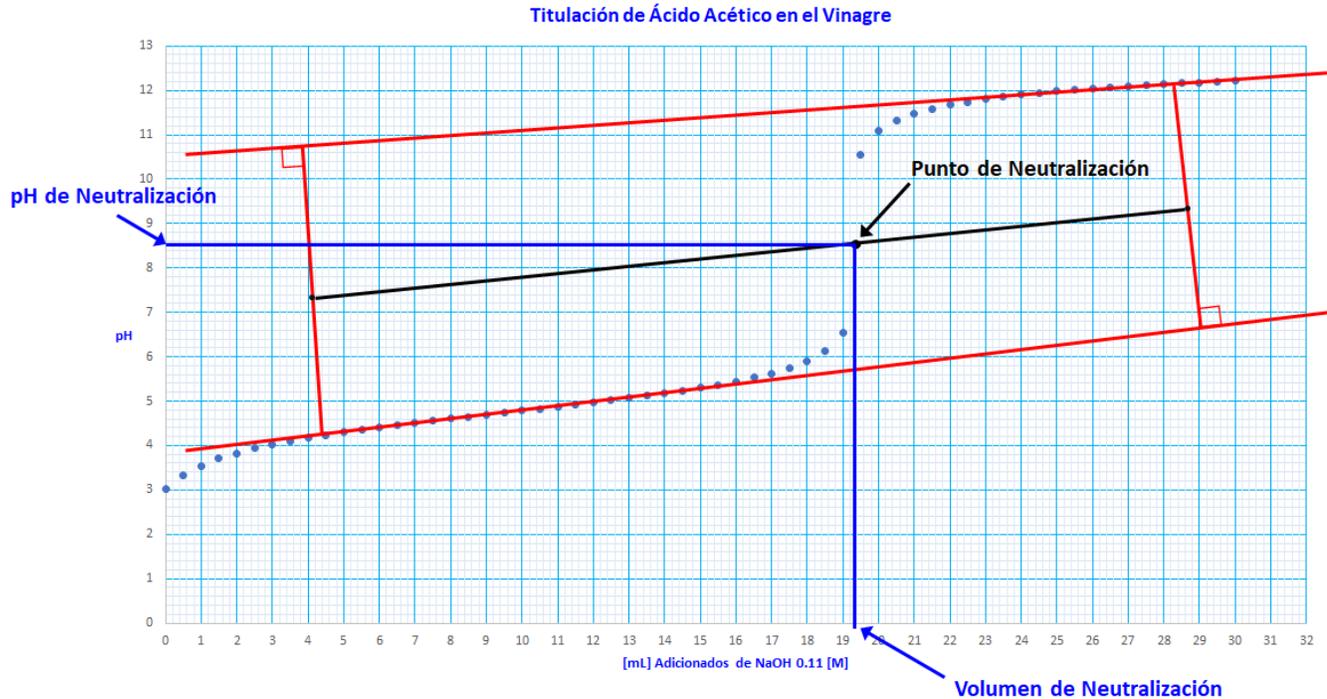
Titulación de Ácido Acético en el Vinagre



A partir del punto de neutralización se obtiene el pH de neutralización y el volumen de neutralización.



Guías para elaborar informe de práctica



En este caso, con los datos que yo empleé, obtuve un volumen de neutralización de 19.2 [mL] y un pH de neutralización de 8.6.

El volumen de neutralización se emplea para determinar el porcentaje de ácido acético en el vinagre, realizando los cálculos siguientes:

- Primero se determinan los moles de NaOH gastados, multiplicando el volumen de neutralización por un factor que se obtiene de la molaridad de la disolución empleada. (Ustedes emplearon una disolución 0.1 [M])

$$19.2 \text{ [mL] Disol.} \left(\frac{0.11 \text{ [mol] NaOH}}{1000 \text{ [mL] Disol.}} \right) = 2.112 \times 10^{-3} \text{ [mol] NaOH}$$

Molaridad

- Los moles de NaOH se convierten a gramos de ácido acético, empleando dos factores de conversión, uno se obtiene de la relación molar y el otro se obtiene de la masa molar del ácido acético.

$$2.112 \times 10^{-3} \text{ [mol] NaOH} \left(\frac{1 \text{ [mol] CH}_3\text{COOH}}{1 \text{ [mol] NaOH}} \right) \left(\frac{60 \text{ [g] CH}_3\text{COOH}}{1 \text{ [mol] CH}_3\text{COOH}} \right) = 0.12672 \text{ [g] CH}_3\text{COOH}$$

Relación Molar *MM_{CH₃COOH}*



Guías para elaborar informe de práctica

- Estos gramos de ácido acético están en 3 [mL] de vinagre; por lo tanto, para calcular el porcentaje masa/volumen de ácido acético en el vinagre se realiza el cálculo siguiente:

$$\% \frac{m}{v} = \frac{[g] \text{ de soluto}}{[mL] \text{ de disolución}} \times 100$$
$$\% \frac{m}{v} = \frac{0.12672 [g] \text{ CH}_3\text{COOH}}{3 [mL] \text{ de vinagre}} \times 100$$
$$\% \frac{m}{v} = 4.224 \% \frac{m}{v} \text{ de ácido acético en el vinagre}$$

Este sería el resultado obtenido.

Recuerde que, para realizar sus cálculos, debe emplear la concentración 0.1 [M] de NaOH y todas las mediciones que obtuvo con el pHmetro.

Autor:

- M. en C. Alfredo Velásquez Márquez

Revisión:

- M. en E. Antonia del Carmen Pérez León
- M. en C. Miguel Ángel Jaime Vasconcelos
- Dra. Ana Laura Pérez Martínez
- Quím. Félix Núñez Orozco
- Dr. Ehecatl Luis David Paleo González
- Quím. Esther Flores Cruz
- M. en A. Violeta Luz María Bravo Hernández



Facultad de Ingeniería
División de Ciencias Básicas
Coordinación de Física y Química
Laboratorio de Química
L. de SQI - 6450



Guías para elaborar informe de práctica

PRÁCTICA 9

ELECTROQUÍMICA. ELECTRÓLISIS DE DISOLUCIONES ACUOSAS. DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE AVOGADRO

Guía para trabajo con cálculos y gráficos



Guías para elaborar informe de práctica

Electrólisis del agua

Parte I. Rendimiento experimental.

El rendimiento experimental se calculará a partir del volumen de hidrógeno (H_2) que se obtuvo durante la electrólisis. Este volumen se usará como variable de la ecuación de Clapeyron-Mendeleiev:

$$pV = nRT$$

De donde se despejará la cantidad de sustancia (n) que ahora etiquetaremos como $n_{H_2,exp}$:

$$n_{H_2,exp} = \frac{PV}{RT}$$

En esta ecuación, las variables

- P , se refiere a la presión del gas, la cual se considerará como la presión atmosférica (que en Ciudad de México es de 585 [mmHg]) y se expresará en [atm],
- V , es el volumen del gas expresado en [l]
- T , es la temperatura del gas (temperatura de la disolución al terminar la electrólisis), y
- R , es la constante general de los gases: 0.08205 [l·atm/mol·K].

En ocasiones se recomienda hacer un ajuste sobre la presión, que consiste en considerar la presión de vapor del agua (H_2O) a la temperatura de trabajo. En este caso, no se sustituirá la presión atmosférica en la ecuación de Clapeyron-Mendeleiev, sino que se evaluará la presión parcial de H_2 y se usará este valor.

Para evaluar la presión parcial de H_2 se usará la ley de presiones parciales de Dalton y se considerará que la presión de vapor de H_2O ($P_{V(H_2O)}$) más la presión de H_2 (P_{H_2}) se iguala a la presión atmosférica:

$$P_{atm} = P_{H_2} + P_{V_{H_2O}}$$

La presión de vapor de H_2O depende de la temperatura de trabajo, como se estudió en prácticas anteriores. La tabla 1 muestra los valores de presión de vapor de H_2O a distintas temperaturas.

Tabla 1.

T [°C]	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
P [mmHg]	9.209	9.844	10.518	11.231	11.987	12.788	13.634	14.530	15.477	16.477
T [°C]	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
P [mmHg]	17.535	18.650	19.827	21.068	22.377	23.756	25.209	26.739	28.349	31.824

La P_{H_2} se calculará como:

$$P_{H_2} = P_{atm} - P_{V_{H_2O}}$$



Guías para elaborar informe de práctica

Y esta será la presión que se sustituirá en la ecuación de Clapeyron-Mendeleiev:

$$n_{H_2,exp} = \frac{P_{H_2} V}{RT}$$

De esta manera se evaluará el rendimiento experimental con un ajuste por presión de vapor.

Parte II. Rendimiento teórico.

Durante el la actividad experimental se registraron al menos siete mediciones de intensidad de corriente eléctrica (I) en miliamperes [mA].

t [s]	0	30	60	90	120	150	180
I [mA]							

Estos valores se promediarán para obtener la intensidad de corriente promedio que circuló a través de la celda:

$$I_{prom} = \frac{1}{7} \sum_{j=1}^m I_j$$

La I_{prom} se expresará en [A] y se usará para evaluar la cantidad de carga promedio (Q) que se usó durante la electrólisis. Para ello, se multiplicará la intensidad de corriente promedio en [A], por el tiempo expresado en [s]:

$$Q = I_{prom} \cdot t = I_{prom} [A] \cdot 180 [s]$$

La cantidad de carga (Q) se expresará en [A·s] o [C] y se usará para conocer la cantidad de sustancia de electrones (n_e) que ha circulado a través de la celda electrolítica.

Se sabe que 1 [mol] de electrones posee una carga de 96485.33 [C] = 1 [F]:

$$n_e = Q [C] \times \left(\frac{1 [mol] e}{96485.33 [C]} \right)$$

Una vez que se conoce la cantidad de sustancia de los electrones que se usó durante la electrólisis, se calculará la cantidad de sustancia de H_2 que se obtendrá de forma teórica, a partir de la ecuación química de reducción que se presenta en el cátodo de la celda:



La ecuación química muestra que la relación estequiométrica entre la cantidad de electrones y el H_2 se describe como:

$$n_{H_2,teo} = n_e \times \left(\frac{2 [mol] H_2}{4 [mol] e} \right)$$



Guías para elaborar informe de práctica

A partir de esta expresión se evaluará el rendimiento teórico expresado como cantidad de sustancia de H₂.

Parte III. Rendimiento porcentual.

El rendimiento porcentual se obtendrá a partir de:

$$\text{Rendimiento porcentual} = \frac{n_{H_2,exp}}{n_{H_2,teo}} \times 100$$

Parte IV. Cálculo de la constante de Avogadro.

Para evaluar de forma experimental la constante de Avogadro, se dividirá la cantidad de electrones entre la cantidad de sustancia de electrones que pasa a través de la celda durante la electrólisis:

$$N_A = \frac{N [\text{electrones}]}{n_e [\text{mol}]}$$

Se calculará cuántos electrones (N) circulan a través de la celda con ayuda de la cantidad de carga promedio (Q) que circula a través de la celda y que se evaluó como:

$$Q = I_{prom} [A] \cdot 180 [s]$$

Este dato se dividirá entre el valor de la constante fundamental de carga (e) que equivale a 1.6022×10^{-19} [C] y que se interpreta como la carga de un electrón:

$$N [\text{electrones}] = \frac{Q [C]}{1.6022 \times 10^{-19} \left[\frac{C}{\text{electrón}} \right]}$$

Por otra parte, se calculará la cantidad de sustancia de H₂ que se obtuvo durante la actividad experimental, para evaluar la cantidad de sustancia de los electrones (n_e). Para ello, se usará el volumen de H₂ que se obtuvo de forma experimental. De esta forma la cantidad de sustancia de H₂ se obtiene como se describió en la evaluación del rendimiento experimental:

$$n_{H_2,exp} = \frac{P_{H_2} V}{RT}$$

A continuación, se usará la relación estequiométrica entre el H₂ y los electrones, de acuerdo con la ecuación química de reducción que se presenta en el cátodo de la celda:



Donde se observa que la relación estequiométrica entre la cantidad de sustancia de H₂ y los electrones es:

$$4 [mol] e = 2 [mol] H_2$$



Guías para elaborar informe de práctica

Por lo que la cantidad de sustancia de electrones se evaluará como:

$$n_e = n_{H_2,exp} \times \left(\frac{4 \text{ [mol] } e}{2 \text{ [mol] } H_2} \right)$$

De esta manera, la constante de Avogadro se calculará como:

$$N_A = \frac{N [e]}{n_e \text{ [mol]}} = \frac{\frac{Q [C]}{1.6022 \times 10^{-19} \left[\frac{C}{e} \right]}}{n_{H_2,exp} \times \left(\frac{4 \text{ [mol] } e}{2 \text{ [mol] } H_2} \right)}$$

Autor:

- M. en C. Miguel Ángel Jaime Vasconcelos

Revisión:

- M. en E. Antonia del Carmen Pérez León
- Dr. Ehecatl Luis David Paleo González
- Dra. Ana Laura Pérez Martínez
- Quím. Félix Núñez Orozco
- M. en C. Alfredo Velásquez Márquez
- Quím. Esther Flores Cruz
- M. en A. Violeta Luz María Bravo Hernández