

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE FISICOQUIMICA

MANUAL DE PRÁCTICAS
LABORATORIO DE TERMODINÁMICA
CLAVE 1212

Elaborado y revisado por Profesores del Departamento de FISICOQUIMICA:

Elaborado por: Dr. Sergio Santiago Rozenel Domenella
Revisado por: Dra. Aline Villarreal Medina M. en D. Ricardo Manuel Antonio Estrada Ramírez Dr. Gerardo Omar Hernández Segura
Agradecemos a la DGAPA por los recursos otorgados mediante el proyecto PAPIME PE 102122 para el desarrollo de este protocolo.

PRÁCTICA: DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA LIBRE DE GIBBS A PARTIR DE CONSTANTES DE EQUILIBRIO

➤ OBJETIVO GENERAL

Cuantificar ΔG , ΔH y ΔS para el producto de solubilidad del bórax.

➤ OBJETIVOS PARTICULARES

Obtener experimentalmente el valor de la constante de equilibrio del producto de solubilidad del bórax en medio acuoso a dos distintas temperaturas a presión constante.

Determinar experimentalmente la energía libre de Gibbs a dos distintas temperaturas de la reacción del producto de solubilidad del bórax a presión constante.

Determinar experimentalmente la entalpía y la entropía de la reacción del producto de solubilidad en medio acuoso a presión constante.

Comparar los valores experimentales de la entalpía y la entropía del producto de solubilidad del bórax con los informados en la literatura, a través del % error.

➤ PROBLEMA

A partir de la concentración de bórax disuelto en una disolución saturada, encontrar los parámetros termodinámicos para la reacción de disociación.

➤ REACTIVOS

- Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).
- Agua destilada.
- Disolución de ácido clorhídrico aproximadamente $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- Carbonato de potasio (K_2CO_3).

EQUIPO (enlistar en la tabla los equipos que se emplearán en la práctica)

- 1 balanza digital ($\pm 0.01 \text{ g}$).
- Disolución acuosa de verde de bromocresol (indicador).
- 2 matraces Erlenmeyer de 500 mL.

Material por equipo

3 matraces Erlenmeyer de 50 mL	1 termómetro digital (± 0.1 °C).
1 bureta 50 mL (± 0.1 mL).	2 vidrios de reloj.
1 agitador magnético con barra magnética.	1 espátula.
1 pipeta volumétrica de 10 mL.	1 vaso de precipitados de 250 mL.

➤ DESARROLLO EXPERIMENTAL

PRIMERA PARTE: Determinación de la concentración de la disolución de ácido clorhídrico:

1. Pesar 0.200 g aproximadamente de carbonato de potasio (K_2CO_3) en tres matraces Erlenmeyer de 50 mL y disolver con agua destilada.
2. Agregar una gota de indicador de verde de bromocresol.
3. Titular la disolución bajo agitación magnética utilizando la bureta de 50 mL.
4. Repetir el procedimiento para los otros dos matraces.
5. Calcular la concentración molar del ácido clorhídrico.

NOTA: el verde de bromocresol colorea de azul intenso las disoluciones básicas. Entre 3.8 y 5.4 de *pH* se vuelve azul verdoso y a valores de *pH* menores a 3.8 se observa como amarillo limón.

SEGUNDA PARTE: Determinación de la constante de equilibrio del producto de solubilidad del bórax y ΔG a temperatura ambiente y en baño de hielo.

1. Colocar en dos matraces Erlenmeyer de 500 mL aproximadamente 20 g de bórax en cada uno.
2. A cada matraz agregar aproximadamente 400 mL de agua destilada y una barra de agitación magnética.
3. Colocar uno de los matraces en baño de hielo y otro a temperatura ambiente por 10 minutos bajo agitación.
4. Detener la agitación y colocar un termómetro en cada matraz.
5. Dejar las soluciones sin moverlas durante 20 minutos para que el bórax no disuelto se asiente.
6. Registrar la temperatura del termómetro.
7. Tomar 2 alícuotas de 10 mL con una pipeta volumétrica, con mucho cuidado para evitar que el sólido precipitado se perturbe. Colocar cada una de las alícuotas en un matraz Erlenmeyer de 10 mL.
8. Agregar 10 mL de agua destilada y 1 gota de indicador a cada matraz.
9. Titular cada disolución con el ácido clorhídrico previamente estandarizado.

10. Repetir los pasos 6 a 9 para la disolución en baño de hielo.

NOTA. Los pK_a 's del ácido bórico son $pK_{a,1} = 9.24$; $pK_{a,2} = 12.74$ y $pK_{a,3} = 13.80$.

Medidas de seguridad.

- Siempre utilizar lentes de seguridad.
- En caso de contacto del ácido con la piel lavarse la zona afectada en la tarja con mucha agua.
- No pipetear con la boca.

➤ **REGISTRO DE DATOS EXPERIMENTALES**

1. Llenar los siguientes datos:

Estandarización del ácido clorhídrico:

Masa 1 K_2CO_3 : _____ (g)

Masa 2 K_2CO_3 : _____ (g)

Masa 3 K_2CO_3 : _____ (g)

Masa molar carbonato de potasio (K_2CO_3) = _____ ($g \cdot mol^{-1}$)

Volumen 1 HCl (sol) _____ (mL)

Volumen 2 HCl (sol) _____ (mL)

Volumen 3 HCl (sol) _____ (mL)

Concentración 1 HCl (sol) _____ ($mol \cdot L^{-1}$)

Concentración 2 HCl (sol) _____ ($mol \cdot L^{-1}$)

Concentración 3 HCl (sol) _____ ($mol \cdot L^{-1}$)

Concentración promedio HCl: _____ ($mol \cdot L^{-1}$)

Titulación de la disolución de bórax a temperatura ambiente:

Temperatura: _____ °C

Exp.	V_{HCl} (mL)	n_{HCl} (mol)	$n_{B_4O_5(OH)_4^{2-}}$ (mol)	n_{Na^+} (mol)	$[B_4O_5(OH)_4^{2-}]$ (mol·L ⁻¹)	$[Na^+]$ (mol·L ⁻¹)
1						
2						

Concentración promedio de borato $[B_4O_5(OH)_4^{2-}]$ _____ (mol·L⁻¹)

Concentración promedio sodio (Na⁺): _____ (mol·L⁻¹)

K_{ps} : _____

ΔG : _____ (J·mol⁻¹)

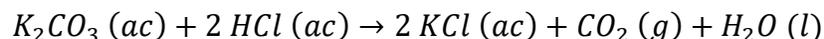
ΔH : _____ (J·mol⁻¹)

ΔS : _____ (J·K⁻¹·mol⁻¹)

Manejo de datos y cálculos.

A.- Estandarización de la solución de ácido clorhídrico.

La reacción para estandarizar (determinar la concentración) de la disolución de ácido clorhídrico es:



Por lo tanto, la concentración de ácido será la mitad del número de moles ocupados.

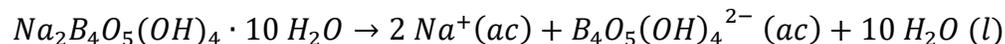
$$n(\text{mol } K_2CO_3) = m_{K_2CO_3} \left(\frac{1 \text{ mol } K_2CO_3}{138.205 \text{ g}} \right)$$

Concentración del ácido:

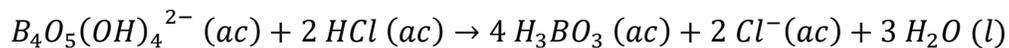
$$C_{HCl} (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) = n (\text{mol } K_2CO_3) \left(\frac{2 \text{ mol } HCl}{1 \text{ mol } K_2CO_3} \right) \left(\frac{1000 \text{ mL}}{V \text{ mL } HCl} \right)$$

B.- Titulación de la disolución de bórax.

En agua, el bórax se disocia de acuerdo con la siguiente reacción:



La reacción para titular el bórax es:



La concentración del ion borato $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$ será igual a la mitad de la cantidad de sustancia de HCl utilizada en relación al volumen requerido:

$$n (\text{mol borato}) = (V \text{ mL HCl}) \left(\frac{\text{moles HCl}}{1000 \text{ mL HCl}} \right) \left(\frac{1 \text{ mol borato}}{2 \text{ mol HCl}} \right)$$

$$C \text{ borato} = \left(\frac{n (\text{mol borato})}{0.01 \text{ L}} \right)$$

La concentración de sodio será el doble que la de borato

$$C \text{ Na}^+ = 2 C \text{ borato}$$

C.- Determinación de K_{ps}

$$K_{ps} = [B_4O_5(OH)_4]^{2-} [Na^+]^2$$

D.- Determinación de ΔG :

$$\Delta G = -RT \ln(K_{ps})$$

E.- Determinación de ΔH :

Una vez determinadas $K_{ps,1}$ (a la temperatura ambiente T_1) y $K_{ps,2}$ (a la temperatura del baño de hielo T_2):

$$\ln \frac{K_{ps,2}}{K_{ps,1}} = \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Despejando:

$$\Delta H = R \frac{\ln \frac{K_{ps,2}}{K_{ps,1}}}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}$$

F.- Determinación de ΔS :

El valor de ΔS se obtiene despejándolo de la ecuación:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

O bien:

$$\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T}$$

Donde T corresponde con la temperatura T_1 y ΔG el valor al de la temperatura T_1 , es decir, ΔG_1 ya que ΔS y ΔH son independientes de la temperatura. Por lo tanto:

$$\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G_1}{T_1}$$

➤ REFERENCIAS

Ramsey, recuperado (02/feb/2024) en:

<http://ramsey1.chem.uic.edu/chem118sp08/pdf/Borax4a.pdf>

Cañada College CHEM 220, recuperado (02/feb/2024) en:

http://chem.ws/dl-1014/exp10-free_energy.pdf

Chang, R. (2007). *Química*. McGraw Hill.

Chang, R. (2008). *Fisicoquímica*. Mc Graw Hill.

Atkins, P., De Paula, J. (2013). *Chimie Physique*. De Boeck.

Laidler, K. J., Meiser, J. H. (2009). *Fisicoquímica*. Grupo Editorial Patria.

Rodríguez-Renuncio, J.A., Ruiz-Sánchez, J. J., Urieta-Navarro J. S. (1998). *Termodinámica Química*. Editorial Síntesis.

Speight, J. G. (2005). *Lange's Handbook of Chemistry*. Mc Graw Hill.

Haynes, W. M. (2014). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press.

Petrucci, R. H., Herring, F. G., Madura, F.G. (2011). *Química General*. Pearson.
Evaluation of measurement data-Guide to the expression of uncertainty in measurement JCGM 100: 2008. *Bureau des Poids et Mesures*.

https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf

Meija, J., Coplen, T. B., Berglund, M., Brand, W. A., De Bièvre, P., Gröning, M., Holden, N. E., Irrgeher, J., Loss, R. D., Walczyk, T and Prohaska, T. (2016). Atomic weights of the elements 2013 (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.* 1–27. <https://doi.org/10.1515/pac-2015-0305>

LibreTexts Chemistry, *Thermodynamics of Borax solubility*. Recuperado (02/feb/2024) en:

[https://chem.libretexts.org/Courses/Los_Medanos_College/General_College_Chemistry_Lab_Manual_\(Semester_2\)/01%3A_Experiments/2611_Thermodynamics_of_Borax_solubility](https://chem.libretexts.org/Courses/Los_Medanos_College/General_College_Chemistry_Lab_Manual_(Semester_2)/01%3A_Experiments/2611_Thermodynamics_of_Borax_solubility)

Atkins, P. W. (1991). *Atoms, electrons and change*, (pp. 81-82) Scientific American Library.

Apéndice I: Conocimientos previos

1. Definir K_{ps} , ΔG , ΔH y ΔS .
- 2.Cuál es la fórmula de bórax y qué equilibrio se presenta en disolución.
3. En qué consiste una estandarización de un ácido
- 4.Cuál es la reacción para titular K_2CO_3 y bórax.

Apéndice II: Preparación de reactivos

- La disolución de ácido clorhídrico aproximadamente 0.1 M se prepara disolviendo 8 mL de HCl concentrado en agua destilada y llevando al aforo en un matraz aforado de 1 L.

Apéndice III: Disposición de residuos

- Los residuos de la práctica se tratan con bicarbonato de sodio hasta un pH básico y se desechan en la tarja

➤ ANEXOS

- a) Reglamento de Higiene y Seguridad para los Laboratorios de la Facultad de Química.
- b) Reglamento para los Estudiantes y Profesores de los Cursos Experimentales del Departamento de Fisicoquímica.

➤ AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la DGAPA por los recursos otorgados mediante el proyecto PAPIME PE 102122 “Actualización de la enseñanza experimental en Termodinámica 1212”, para el desarrollo de este protocolo.