



ELABORACIÓN DE UN SIMULADOR PARA VALORACIONES CONDUCTIMÉTRICAS DE REACCIONES DE PRECIPITACIÓN

Juan Ramírez Balderas

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional
jramirezb@ipn.mx

Teresa Jaens Contreras

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional
jaensmayte79@gmail.com

Sandra Vázquez Romero

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional
sandycic@hotmail.com

Resumen

En este trabajo se elabora un simulador de curvas de valoración conductimétricas para reacciones del tipo: $A^+B^- + C^+D^- \rightleftharpoons A^+D^- + CB\downarrow$ a partir de una hoja de cálculo. Se dan las instrucciones detalladas para la elaboración del simulador y se usa para trazar la curva de valoración de la reacción: $Na^+Cl^- + Ag^+NO_3^- \rightleftharpoons Na^+NO_3^- + AgCl\downarrow$. Se realiza la valoración experimental y se traza la curva conductimétrica de la reacción en estudio. Se obtiene el punto final de la valoración y se calcula la concentración del cloruro de sodio que fue de 0.0110 N. Se compara la curva de valoración obtenida con el simulador y la curva de valoración experimental observándose que no existe diferencia significativa entre ambas curvas de valoración por lo que se considera válida la predicción de la curva obtenida con el simulador.

Palabras clave: valoración, conductimetría, precipitación, simulador

En trabajos anteriores, se presentó la simulación de valoraciones conductimétricas con el uso de una hoja de cálculo para las reacciones del tipo:

a) $A^+B^- + C^+D^- \rightleftharpoons C^+B^- + AD$ que es el caso de la valoración de un ácido fuerte con una base fuerte (Ramírez Balderas, Jaens Contreras, & Vázquez Romero, 2021).



b) $AE + C^+D^- \rightleftharpoons C^+E^- + AD$ que es el caso de la valoración de un ácido débil con una base fuerte (Ramírez Balderas, Jaens Contreras, & Vázquez Romero, 2022).

c) $A^+B^- + AE + C^+D^- \rightleftharpoons C^+B^- + C^+E^- + AD$ que es el caso de la valoración de una mezcla de dos ácidos con una base fuerte (Ramírez Balderas, Jaens Contreras, & Vázquez Romero, 2022).

En esta ocasión simulamos la curva de valoración conductimétrica para una reacción de precipitación y se compara con una curva experimental para observar el perfil de ambas curvas.

Conductividades iónicas

En disoluciones donde existen varios electrolitos, la conductividad, κ , se calcula con la ecuación (1) (Ramírez Balderas, Jaens Contreras, & Vázquez Romero, 2021).

$$\kappa = \frac{\sum(\lambda_{eq,cation}^{\infty} + \lambda_{eq,anion}^{\infty}) \cdot N}{1000} \quad (1)$$

Donde:

$$\lambda_{eq}^{\infty} \text{ en } [S \cdot cm^2 \cdot eq^{-1}]$$

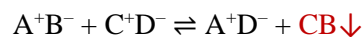
$$\kappa \text{ en } [S \cdot cm^{-1}]$$

$$N = \text{normalidad en } \left[\frac{eq}{L} \right]$$

Valoraciones conductimétricas

La gráfica de κ en función del volumen del reactivo titulante, presenta un cambio de pendiente en el punto de equivalencia por lo que se usa este cambio para determinar el punto final en una valoración conductimétrica (Levine, 2004).

En este caso, se traza la curva de valoración conductimétrica de la reacción del tipo:



Donde:

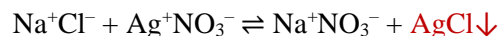
A^+B^- es un electrolito fuerte que produce los iones A^+ y B^- .

C^+D^- es un electrolito fuerte que produce los iones C^+ y D^- .

A^+D^- electrolito fuerte que produce los iones A^+ y D^- .

$CB \downarrow$ es un precipitado, una especie no disociada.

La valoración de cloruro de sodio con nitrato de plata se ajusta al tipo de reacción estudiada en este caso.



La conductividad κ , está dada por los iones presentes durante el transcurso de la valoración y de forma general se calcula con la ecuación (1) y para el caso específico de la valoración de cloruro de sodio con nitrato de plata, la ecuación (1) se transforma en la ecuación (2).

$$\kappa = \frac{[(\lambda_{Na^+}^{\infty} + \lambda_{Cl^-}^{\infty}) \cdot N_{NaCl} + (\lambda_{Ag^+}^{\infty} + \lambda_{NO_3^-}^{\infty}) \cdot N_{AgNO_3} + (\lambda_{Na^+}^{\infty} + \lambda_{NO_3^-}^{\infty}) \cdot N_{NaNO_3}]}{1000} \quad (2)$$

Para simular la curva de valoración conductimétrica necesitamos los datos de la Tabla 1 y la Tabla 2.



Tabla 1. Datos de concentración y volumen de la sustancia a valorar y el reactivo titulante.

	Sustancia a valorar NaCl	Reactivo titulante AgNO ₃
N $\left[\frac{eq}{L}\right]$	0.0100	0.0100
V [mL]	10.00	varía con cada adición

Tabla 2. Conductividades equivalentes a dilución infinita (Charlot, 1975).

$\lambda_{eq}^{\infty} [S \cdot cm^2 \cdot eq^{-1}]$			
Na ⁺	Cl ⁻	Ag ⁺	NO ₃ ⁻
50.1	76.3	61.9	71.4

Colocar las etiquetas y datos en una hoja de cálculo como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Etiquetas y datos colocados en una hoja de cálculo para simular la curva de valoración conductimétrica de NaCl con AgNO₃.

Para calcular el volumen del reactivo titulante en el punto de equivalencia, colocar en la celda E4 la fórmula: $=\frac{B3*B4}{E3}$

Colocar las etiquetas de la Figura 2 en las celdas M10, N10, O10, P10 y Q10 de la hoja de cálculo.

Figura 2. Etiquetas de las columnas en la hoja de cálculo.

Volumen agregado de reactivo titulante (AgNO₃). Se asigna el incremento del volumen del reactivo titulante de tal forma que el número de puntos totales de la curva sea de 80; 40 puntos antes del punto de equivalencia y 40 puntos después del punto de equivalencia. En la celda M11 se asigna el valor de 0 y en la celda M12 se escribe la fórmula: $=M11+(2*B3*B4)/E3/80$ como se muestra en la Figura 3. Se copia esta fórmula hasta la celda M90.

Figura 3. Asignación de las adiciones del volumen de NaOH.

Concentración de NaCl en el transcurso de la valoración. La concentración de cloruro de sodio disminuye hasta ser prácticamente cero en el punto de equivalencia y se calcula con la ecuación (3)

$$N_{NaCl} = \frac{(V_{NaCl} \cdot N_{NaCl}) - (V_{AgNO_3 \text{ agregado}} \cdot N_{AgNO_3})}{V_{NaCl} + V_{AgNO_3 \text{ agregado}}} \quad (3)$$

Para determinar su valor, la ecuación (3) se coloca en la celda O11 en la forma: $=\frac{B3*B4 - E3*M11}{B4 + M11}$. Se copia esta ecuación hasta la celda O51.



Concentración del reactivo titulante (AgNO_3) en el transcurso de la valoración. El reactivo titulante se consume prácticamente en su totalidad hasta el punto de equivalencia; pasando este punto, se empieza a acumular en el sistema y su concentración se calcula con la ecuación (4).

$$N_{\text{AgNO}_3} = \frac{(V_{\text{AgNO}_3 \text{ agregado}} - V_{\text{AgNO}_3 \text{ eq}}) \cdot N_{\text{AgNO}_3}}{V_{\text{NaCl}} + V_{\text{AgNO}_3 \text{ agregado}}} \quad (4)$$

Para determinar su valor, la ecuación (4) se coloca en la celda P51 en la forma: $=(\text{M51} - \text{\$E\$4}) * \text{\$E\$3} / (\text{\$B\$4} + \text{M51})$. Se copia esta ecuación hasta la celda P90.

Concentración de NaNO_3 en el transcurso de la valoración. Desde el inicio y hasta el punto de equivalencia, se produce nitrato de sodio. Su concentración se calcula con la ecuación (5).

$$N_{\text{NaNO}_3} = \frac{V_{\text{AgNO}_3 \text{ agregado}} \cdot N_{\text{AgNO}_3}}{V_{\text{NaCl}} + V_{\text{AgNO}_3 \text{ agregado}}} \quad (5)$$

Para determinar su valor, la ecuación (5) se coloca en la celda Q11 en la forma: $=\text{\$E\$3} * \text{M11} / (\text{\$B\$4} + \text{M11})$. Se copia esta ecuación hasta la celda Q51.

Después del punto de equivalencia, la concentración de nitrato de sodio se calcula con la ecuación (6).

$$N_{\text{NaNO}_3} = \frac{V_{\text{AgNO}_3 \text{ eq}} \cdot N_{\text{AgNO}_3}}{V_{\text{NaCl}} + V_{\text{AgNO}_3 \text{ agregado}}} \quad (6)$$

Para determinar su valor, la ecuación (6) se coloca en la celda Q52 en la forma: $=(\text{\$E\$3} * \text{\$E\$4}) / (\text{\$B\$4} + \text{M52})$. Se copia esta ecuación hasta la celda Q90.

Cálculo de la conductividad en el transcurso de la valoración. La conductividad, κ , se calcula con la ecuación (2) y se multiplica por la ecuación (7) para corregir su valor por el efecto de dilución (Federico-Pérez, Cárdenas-Carrasco, Wicochea-Rodríguez, Bernal-Mercado, & García-Alegría, 2011).

$$\text{factor} = \frac{V_{\text{NaCl}} + V_{\text{AgNO}_3 \text{ agregado}}}{V_{\text{NaCl}}} \quad (7)$$

En la celda N11 se coloca el producto de la ecuación (2) y la ecuación (7) en la forma: $=((\text{\$B\$13} + \text{\$C\$13}) * \text{O11} + (\text{\$E\$13} + \text{\$F\$13}) * \text{P11} + (\text{\$B\$13} + \text{\$F\$13}) * \text{Q11}) / (1000) * ((\text{\$B\$4} + \text{M11}) / \text{\$B\$4})$. Se copia esta ecuación hasta la celda N90.

Finalmente, se grafica la conductividad, κ , en función del volumen del reactivo titulante y se obtiene la curva de valoración conductimétrica del NaCl con el AgNO_3 como lo muestra la Figura 4.

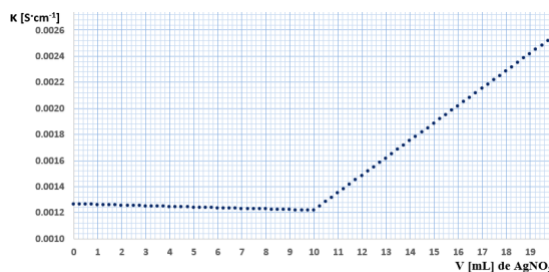


Figura 4. Valoración conductimétrica de NaCl 0.01 N con AgNO_3 0.01 N

Curva de valoración experimental. Se valoraron conductimétricamente 10.00 mL de NaCl con AgNO_3 0.0107 N. Los resultados de la valoración se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos experimentales de la valoración conductimétrica de 10.00 mL de NaCl con AgNO₃ 0.0107 N

V [mL] AgNO ₃	L [S]	V [mL] AgNO ₃	L [S]
0.00	0.00228	8.00	0.00215
0.50	0.00228	8.50	0.00214
1.00	0.00227	9.00	0.00213
1.50	0.00227	9.50	0.00212
2.00	0.00225	10.00	0.00212
2.50	0.00225	10.50	0.00213
3.00	0.00223	11.00	0.00226
3.50	0.00223	11.50	0.00238
4.00	0.00222	12.00	0.00249
4.50	0.00221	12.50	0.00263
5.00	0.00220	13.00	0.00273
5.50	0.00220	13.50	0.00284
6.00	0.00218	14.00	0.00295
6.50	0.00217	14.50	0.00310
7.00	0.00216	15.00	0.00322
7.50	0.00216		

La curva de valoración experimental se muestra en la Figura 3.

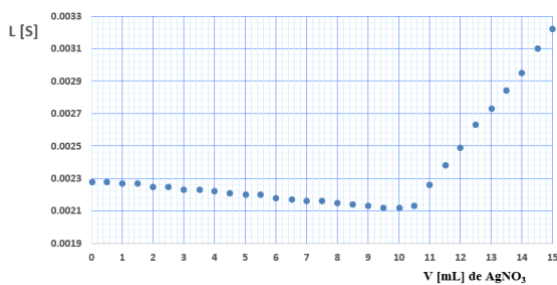


Figura 3. Valoración conductimétrica experimental de 10.00 mL de NaCl con AgNO₃ 0.0107N

Cálculo de la concentración de NaCl. En la Figura 4 se observa el volumen en el punto final de la valoración y a continuación se realiza el cálculo de la concentración de NaCl:

$$N_{NaCl} = \frac{(10.3 \text{ mL})(0.0107 \text{ N})}{10.00 \text{ mL}} = 0.0110 \text{ N}$$

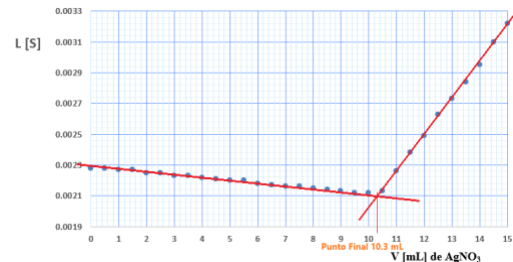


Figura 4. Determinación gráfica del punto final de la valoración conductimétrica experimental de 10.00 mL de NaCl con AgNO₃ 0.0107N

En la Figura 5 se muestra la curva A) experimental y B) teórica obtenida con el simulador. Se observa que ambas curvas tienen el mismo perfil y no se percibe diferencia significativa entre ellas.

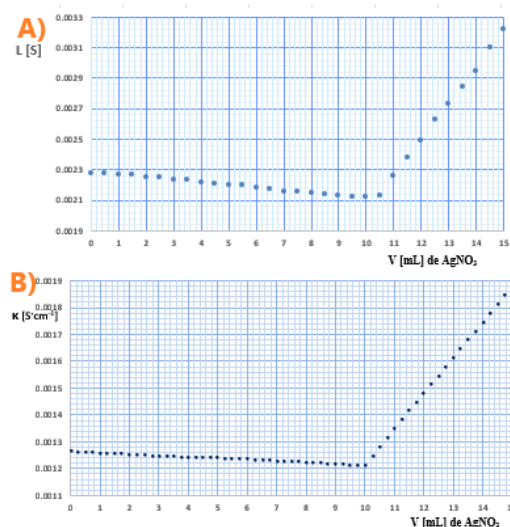


Figura 5. Valoración conductimétrica de NaCl con AgNO₃. A) curva experimental y B) curva teórica obtenida con el simulador.

Conclusiones

Se dan las instrucciones detalladas para que los estudiantes realicen un simulador en una hoja de cálculo para obtener la curva de valoración conductimétrica de una reacción de



precipitación. Se aplica el simulador para obtener la curva de valoración de la reacción: $\text{Na}^+\text{Cl}^- + \text{Ag}^+\text{NO}_3^- \rightleftharpoons \text{Na}^+\text{NO}_3^- + \text{AgCl}\downarrow$. El simulador se puede usar para otras reacciones del mismo tipo. Se realiza la valoración conductimétrica experimental de la reacción de cloruro de sodio con nitrato de plata y se determina la concentración del cloruro de sodio que resultó de 0.0110 N. Al comparar la curva experimental con la teórica obtenida con el simulador, se observa que no existe diferencia significativa entre ambas.

Referencias

- Charlot, G. (1975). *Curso de química analítica general. Tomo II. Métodos electroquímicos y absorciométricos. Cromatografía*. Barcelona, España.: Toray-Masson, S. A.
- Federico-Pérez, R., Cádiz-Carrasco, M., Wicochea-Rodríguez, J., Bernal-Mercado, A., & García-Alegría, A. (2011). Conductimetría y titulaciones, ¿cuándo, por qué y para qué? *Educación Química*, 166-169.
- Levine, I. (2004). *Fisicoquímica. Quinta edición. Volumen 2*. Aravaca (Madrid), España.: McGraw-Hill.
- Ramírez Balderas, J., Jaens Contreras, T., & Vázquez Romero, S. (Julio-diciembre de 2021). *SIMULACIÓN DE VALORACIONES CONDUCTIMÉTRICAS*

CON HOJA DE CÁLCULO. Obtenido de HUMANIDADES, TECNOLOGÍA Y CIENCIA, DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL: https://revistaelectronica-ipn.org/ResourcesFiles/Contenido/26/CIENCIA_26_001038.pdf

Ramírez Balderas, J., Jaens Contreras, T., & Vázquez Romero, S. (Julio-diciembre de 2022). *SIMILADOR PARA LA VALORACIÓN CONDUCTIMÉTRICA DE UNA MEZCLA DE DOS ÁCIDOS (FUERTE Y DÉBIL) CON UNA BASE FUERTE*. Obtenido de REVISTA ELECTRÓNICA DE HUMANIDADES, TECNOLOGÍA Y CIENCIA, DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL: https://revistaelectronica-ipn.org/ResourcesFiles/Contenido/28/TECNOLOGIA_28_001131.pdf

Ramírez Balderas, J., Jaens Contreras, T., & Vázquez Romero, S. (Diciembre de 2022). *SIMULACIÓN DE VALORACIONES CONDUCTIMÉTRICAS CON HOJA DE CÁLCULO. CASO 2. TITULACIÓN DE UN ÁCIDO DÉBIL CON UNA BASE FUERTE*. Obtenido de Congreso Internacional CAECH: <https://onedrive.live.com/?authkey=%21ABLUoUjYf%5FOjtxw&cid=D05DE8740A561951&id=D05DE8740A561951%213882&parId=D05DE8740A561951%213848&o=OneUp>