

Extracción de sólidos a partir de soluciones complejas – Empleo de diagramas triangulares de equilibrios de fases

Nicolás G. Moreno¹, Luisa B. González², Maria L. Almazán³, Cindy I. Valverde⁴.

^{1, 2, 3, 4}: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Argentina.

¹nmoreno@unsa.edu.ar; ²lubego@unsa.edu.ar; ³m.l.almazan389@gmail.com;

⁴cindy_val87@hotmail.com

RESUMEN: El conocimiento de los equilibrios de fases en sistemas ternarios resultantes de mezclas de soluciones reviste gran importancia industrial debido a que brinda la posibilidad de seleccionar las condiciones más convenientes para la separación de compuestos presentes en las mismas.

Las condiciones apropiadas para la separación de los compuestos presentes se obtienen a partir de un estudio isotérmico del sistema considerado cuyos resultados permiten obtener los datos necesarios para la construcción de las curvas de equilibrios entre la sustancia que se quiere extraer y la solución correspondiente.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos al estudiar las condiciones de equilibrio de fases del sistema Acido Bórico, Cloruro de Potasio y Agua a la temperatura de 50°C y presión atmosférica.

Los resultados obtenidos serán muy útiles en procesos de fabricación de ácido bórico a partir de minerales de boratos que contengan cloruro de potasio.

1 INTRODUCCION

Los objetivos de este trabajo eran determinar las condiciones más favorables para la separación de los compuestos presentes en la mezcla resultante del tratamiento de minerales de boratos y, además, demostrar como se puede obtener mejor información a partir de los datos obtenidos en la parte experimental, utilizando otro tipo de diagrama para representarlos.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos al estudiar el comportamiento del ácido bórico en soluciones saturadas de cloruro de potasio con el objeto de determinar las condiciones más convenientes para la separación de algunos de los compuestos presentes.

Los datos necesarios surgen del estudio del comportamiento en el equilibrio del sistema considerado, preparando distintas soluciones saturadas de las sustancias involucradas, a presión atmosférica y temperatura definida.

Normalmente se acostumbra a presentar los resultados en diagramas rectangulares. Sin embargo, en la medida que en este tipo de diagrama no se visualiza fácilmente cuales son los sólidos en equilibrio con la solución representada por la curva de solubilidad, los datos obtenidos de este estudio son presentados en forma de un diagrama triangular.

2 METODOLOGIA

El método experimental se desarrolló preparando duplicados de mezclas ternarias de composición global conocida, las que fueron ubicadas en un baño de agua a temperatura



Figura 1. Recipiente para determinar solubilidades.

constante, en este caso a 50°C, con agitación intensa, 400 rpm, durante 3 horas, dejando reposar un tiempo similar y luego se repitió el procedimiento dos veces más, para asegurar que se alcanzó el equilibrio.

El equipo utilizado para realizar los experimentos consiste en un recipiente cilíndrico cerrado, de acrílico, de 10 cm de diámetro y 20 cm de alto, como se muestra en la Figura 1, el cual va provisto de agitador y entradas laterales para



Figura 2. Recipiente en baño termostatzado

permitir ensamblar termómetro, pH-metro, etc., y agregar reactivos o sacar muestras. Todo esto se

coloca dentro de un baño de agua caliente a temperatura de 50°C, como se ve en la Figura 2. Los reactivos utilizados fueron: H₃BO₃ 99,84 % (Anedra); KCl, purísimo (Cicarelli); y Agua destilada, pH: 6,7.

Al final de cada experimento se tomaron muestras de las fases sólida y líquida y se analizaron para determinar su composición.

Los análisis químicos se realizaron titulando el ácido bórico con hidróxido de sodio en presencia de manitol (Vogel, 1960), y el cloruro de potasio a través del ión potasio, por absorción atómica, en un equipo Shimadzu AA 6500. La fase sólida fue analizada según el método del residuo, que consiste en analizar una porción de sólido húmedo y determinar luego, por extrapolación, la composición que tendría el sólido seco. (Glasstone, 1966; Castellán, 1976).

3. RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos. Los mismos presentan bastante similitud con datos informados en la literatura (Korsunskij, 1983).

Tabla 1. Solubilidad de ácido bórico (% m/m) en soluciones saturadas de cloruro de potasio, a 50° C.

% KCl	0,00	4,95	9,62	13,98	18,70	24,80	28,65	28,95	29,4	30,20
% H ₃ BO ₃	10,20	10,40	10,70	10,90	11,15	11,40	11,60	9,70	4,45	0,00
% H ₂ O	89,80	84,65	79,68	75,12	70,15	63,80	59,75	61,35	66,15	69,80
Fase sólida	B	B	B	B	B	B	B+Cl	Cl	Cl	Cl

B: H₃BO₃ - Cl: KCl

Los datos experimentales de la Tabla 1 se representan en la Figura 3, en forma de un diagrama ternario de Van't Hoff (Glasstone,

1966). En la misma se puede observar la variación de la solubilidad del ácido bórico a medida que aumenta la concentración de cloruro de potasio.

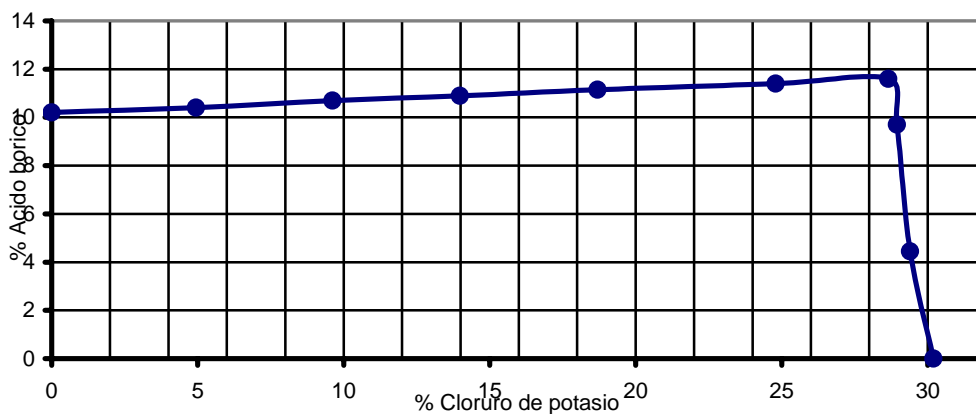


Figura 3. Curva de solubilidad de ácido bórico en soluciones saturadas de cloruro de potasio, a 50°C y presión atmosférica

Como se dijo en la introducción, este tipo de diagrama no permite distinguir el tipo de sólido que está en equilibrio con la curva de solubilidad en las distintas partes de la misma. Por lo tanto, como se explicó en un trabajo anterior (Moreno et al., 2.008) un sistema como éste puede ser representado en un diagrama triangular de tal manera que, si los vértices del mismo representan los componentes puros H_2O , H_3BO_3 y KCl , la distancia desde un punto en el interior del diagrama a cualquier lado, medida paralelamente a uno de los otros, da la proporción del componente que ocupa el vértice opuesto. De esta manera, cualquier punto dentro del diagrama representa tres componentes. En tal caso, si X es un punto cualquiera dentro del mismo, como se ve en la Figura 4, las sumas de las distancias trazadas desde ese punto a cada uno

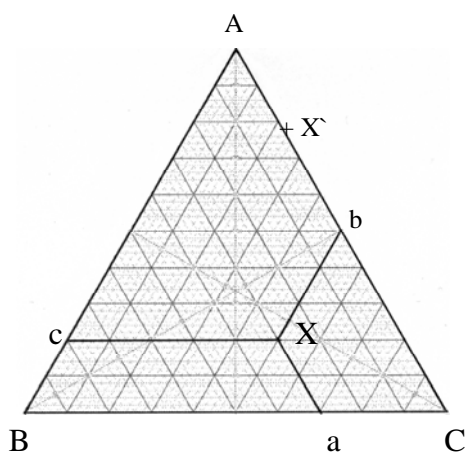


Figura 4.- Diagrama triangular.

de los lados, paralelamente a los otros lados, es siempre igual a un lado del triángulo. Entonces, representando los componentes puros, A, B y C por los vértices del triángulo, la distancia desde X a cualquiera de los lados, medida paralelamente a uno de los otros dos, indicará la proporción del componente que ocupa el vértice opuesto. Por lo tanto, las distancias X_a , X_b y X_c indican las proporciones de A, B y C, respectivamente, en el sistema indicado por este punto. Por otra parte, un punto sobre uno de los lados, indica sólo dos componentes. Es decir, si este punto está sobre el lado AC, como sería el punto X' , por ejemplo, indica que el componente B está ausente (Glasstone, 1966). Para facilitar la ubicación de las composiciones en el diagrama triangular, conviene dividir cada lado en 10 partes iguales y trazar por ellos una serie de líneas paralelas a los tres lados, como se observa en ambos diagramas

Con el objeto de simplificar la representación gráfica de las condiciones de equilibrio para tres componentes, se adopta generalmente el procedimiento de considerar sistemas condensados, es decir, se prescinde de la fase vapor, a temperatura constante, y fijando de esta manera las dos variables, presión y temperatura, sólo podrán variar independientemente los dos términos de la concentración, lo que permite utilizar un diagrama plano para indicar las condiciones de equilibrio. (Glasstone, 1966).

Aplicando la Regla de las Fases:

$$F = C - P + 2 \quad (1)$$

(donde: F: número de grados de libertad; C: número de componentes, y P: número de fases), a un sistema de tres componentes, los grados de libertad son:

$$F = 3 - P + 2 = 5 - P \quad (2)$$

de manera que, fijando dos variables, presión y temperatura (constantes) las restantes variables corresponden a la composición, que están relacionadas mediante la ecuación:

$$x_1 \% + x_2 \% + x_3 \% = 100 \%, \quad (3)$$

por lo tanto, especificando sólo dos de ellas queda fijado el valor de la tercera. Esto es, que sólo podrán variar independientemente dos términos de concentración, lo que permite utilizar un diagrama plano para indicar las condiciones de equilibrio (Glasstone, 1966, Castellán, 1976).

La representación de los datos de la Tabla 1 en un diagrama triangular se presenta en la Figura 5. En este caso, los vértices representan los componentes puros H_2O , H_3BO_3 y KCl .

La curva de solubilidad es una isoterma que representa las condiciones de equilibrio entre el líquido ternario y las fases sólidas (Glasstone, 1966). Siempre que haya más de una fase sólida, la isoterma presentará discontinuidad. En este caso, la discontinuidad está dada por el punto "b", que es un punto invariante isotérmico. Este punto representa la composición del líquido saturado que está en equilibrio con los dos sólidos. En consecuencia, hay tres fases, una líquida y dos sólidas.

Como se ve en el diagrama de la Figura 5, esta curva presenta una discontinuidad que la divide en dos partes. En la primera parte, desde el punto "a", que representa la composición 0,00 % de KCl , 10,20 % de H_3BO_3 y 89,80 % de H_2O , hasta el punto "b", que representa la composición 11,60 % de H_3BO_3 , 28,65 % de KCl , y 59,65 % de H_2O , el sólido que está en equilibrio con la solución saturada es H_3BO_3 .

Mientras que en la segunda parte de la curva, que va desde "b" hasta el punto "c", que indica la composición de 0,00 % de H_3BO_3 , 30,20 % de KCl, y 69,80 % de H_2O , el sólido en equilibrio con las soluciones saturadas dadas por esa porción de la curva es KCl.

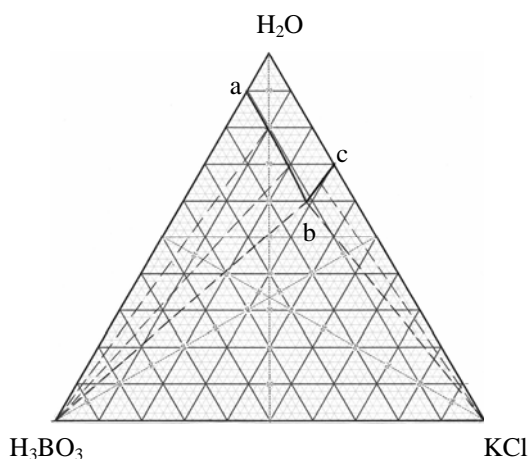


Figura 5. Diagrama de equilibrio de fases del sistema H_3BO_3 - KCl - H_2O , a $50^\circ C$.

La naturaleza de las fases sólidas se indica por las líneas de conexión entre los puntos que definen las composiciones de las soluciones saturadas con puntos que definen la fase sólida en equilibrio con esas soluciones y, por tal motivo, se unen con puntos del diagrama que indica la composición del sólido resultante en la proporción en que se encuentran combinados.

4 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten sacar las siguientes conclusiones:

1.- Los diagramas de equilibrios de fases se pueden construir fácilmente usando métodos sencillos.

2.- Del primer diagrama (Figura 3) se observa que la solubilidad del ácido bórico se ve favorecida, hasta un cierto punto por la presencia de cloruro de potasio.

3.- A la temperatura de trabajo, $50^\circ C$, se presenta un sólo punto invariante isotérmico.

4.- En las condiciones del trabajo se observó la separación de los sólidos H_3BO_3 y KCl.

5.- Las condiciones más convenientes para la extracción por cristalización de compuestos sólidos se puede obtener fácilmente a partir de un diagrama triangular de equilibrio de fases.

5 REFERENCIAS

Castellán, G. W., *Fisicoquímica*. Fondo Educativo Interamericano. México. 1976.

Glasstone, S. *Tratado de Química Física*. 6ª ed. Editorial Aguilar. Madrid. 1966.

Korsunskij, M. M., *Izvestia An KazSSR Seria, Himicheskaia*. N° 3. 1981.

Vogel, A. I., *Química Analítica Cuantitativa*. Vol. I. Ed. Kapelus. Buenos Aires. 1960.

Moreno, N. G.; Flores, J. E.; Lefter, M., Construcción de Diagramas de Fases de Equilibrio Líquido-Sólido en Sistemas Ternarios, *Anais 63º Congresso Anual da ABM*, Brasil, 2008, pp. 1348-1352.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (UNSa) por el aporte económico que permitió la realización de este trabajo.

Al Instituto de Beneficio de Minerales (INBEMI) de la Facultad de Ingeniería de la UNSa por la colaboración en la realización de los análisis químicos.