



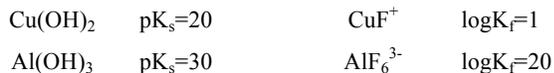
## Análisis del esquema de separación de una mezcla de $\text{Al}^{3+}_{(ac)}$ y $\text{Cu}^{2+}_{(ac)}$ por medio de modificación del pH y del medio complejante.

Lew Yee Juan Felipe Huan, felipe.lew.yee@comunidad.unam.mx, Facultad de Química, UNAM  
Ciudad de México, México, 12 de Noviembre de 2015

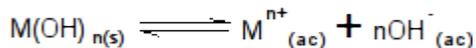
### Resumen

Se propone un esquema de separación de una mezcla de iones  $\text{Al}^{3+}$  0.1M y  $\text{Cu}^{2+}$  0.1M mediante la selección del pH adecuado maximizando el porcentaje de separación, de una mezcla de iones en medio simple y pF impuesto.

Se conoce la siguiente información para los iones  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Al}^{3+}$ :



Cuando se tiene un catión  $\text{M}^{n+}$  en disolución acuosa capaz de formar precipitados hidróxidos, se establece el siguiente equilibrio de solubilidad:



La  $K_s$  se expresa como:

$$K_s = |\text{M}^{n+}| |\text{OH}^-|^n = |\text{M}^{n+}| \left( \frac{K_w}{[\text{H}^+]} \right)^n = |\text{M}^{n+}| 10^{npH - npK_w}$$

A pH impuesto se define la solubilidad del ión como  $S=|\text{M}^{n+}|$ , se obtiene:

$$K_s = S 10^{npH - npK_w}$$

Aplicando la función logaritmo:

$$\log S = npK_w - pK_s - npH$$

Para  $\text{Cu}^{2+}$  se obtiene la función:

$$\log S_{\text{Cu}^{2+}} = 2pK_w - pK_s - 2pH = 2(14) - 20 - 2pH$$

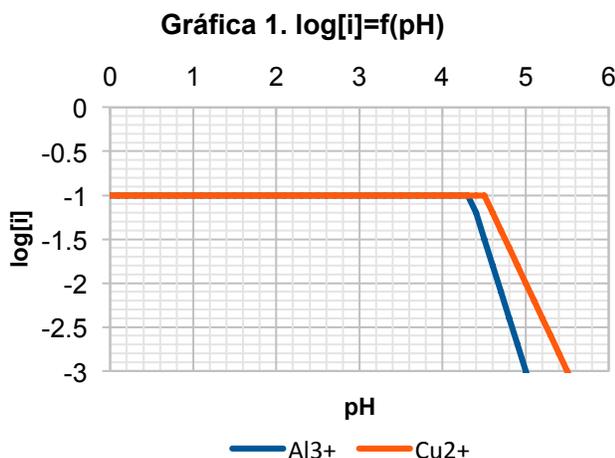
$$\rightarrow \log S_{\text{Cu}^{2+}} = 8 - 2pH$$

Para  $\text{Al}^{3+}$  se obtiene la función:

$$\log S_{\text{Al}^{3+}} = 3pK_w - pK_s - 3pH = 3(14) - 30 - 3pH$$

$$\rightarrow \log S_{\text{Al}^{3+}} = 12 - 3pH$$

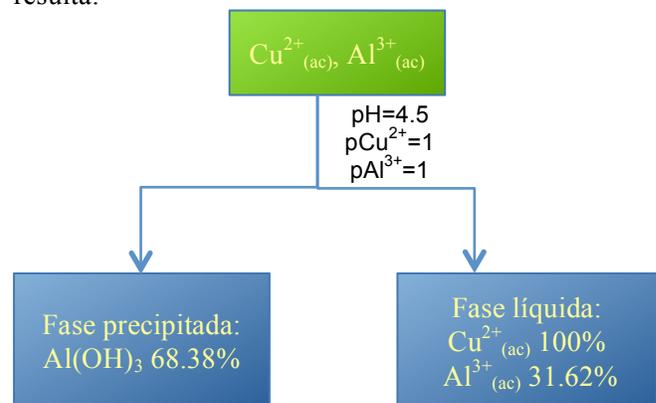
La gráfica 1 muestra  $\log S=f(\text{pH})$  para  $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{Cu}^{2+}$ :



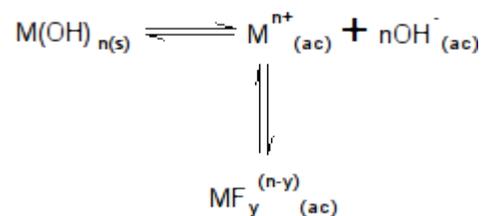
Se observa que la máxima separación se alcanza a  $\text{pH}=4.5$ . En esas condiciones:

$$\log(1-f)=-0.5 \rightarrow f=0.6838; \%f=68.38\%$$

Por tanto el esquema de máxima separación a  $\text{pH}=4.5$  resulta:



Aunque el esquema de separación funciona, no es efectivo. Para mejorar la efectividad se agrega fluor hasta  $\text{pF}=0$ . En estas condiciones se establecen los equilibrios colaterales correspondientes para los cationes metálicos:



Para  $\text{Cu}^{2+}$  se obtiene

$$pK_s' = pK_s - \log(\alpha_{\text{Cu}(F)}) = 20 - \log(1 + 10^{1-pF})$$

$$\text{A } \text{pF}=0: pK_s' = 20 - \log(1 + 10^1) = 18.96 \approx 19$$

Para  $\text{Al}^{3+}$  se obtiene

$$pK_s' = pK_s - \log(\alpha_{\text{Al}(F)}) = 30 - \log(1 + 10^{20-6pF})$$

$$\text{A } \text{pF}=0: pK_s' = 30 - \log(1 + 10^{20}) = 10$$

Los nuevos valores de  $pK_s'$  para los equilibrios generalizados de solubilidad se sustituyen en las expresiones obtenidas para las funciones  $\log S=f(\text{pH})$ .

Para  $\text{Cu}^{2+}$  se obtiene la función:



$$\log S_{Cu^{2+}} = 2pK_w - pK_s - 2pH = 2(14) - 19 - 2pH$$

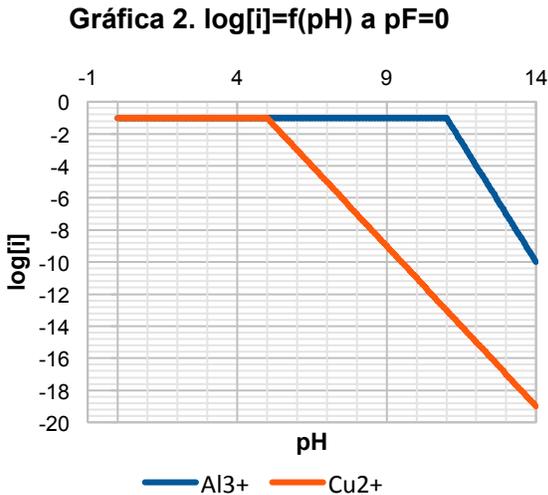
$$\rightarrow \log S_{Cu^{2+}} = 9 - 2pH$$

Para  $Al^{3+}$  se obtiene la función:

$$\log S_{Al^{3+}} = 3pK_w - pK_s - 3pH = 3(14) - 10 - 3pH$$

$$\rightarrow \log S_{Al^{3+}} = 32 - 3pH$$

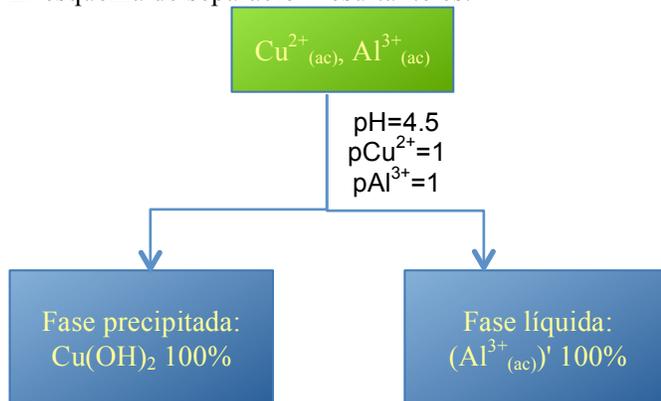
La gráfica 2 muestra  $\log S' = f(pH)$  para  $(Al^{3+})'$  y  $(Cu^{2+})'$ :



Se observa que la máxima separación se alcanza a  $pH=11$ , a ese pH se cumple:

$$\log(1-f) = -12 \rightarrow f=1; \%f=100\%$$

El esquema de separación resultante es:



El esquema de separación ahora es completamente efectivo. Además, mientras en la separación por precipitación sin fluor se precipita el aluminio, en el esquema de precipitación con fluor se precipita el cobre.

### Bibliografía de apoyo

- Butler, J.N. Solubility and pH calculations; Addison-Wesley Publishing Company, Inc.,

1964.

- Lyalikov, Y.S.; Klyachko, Y.A. Theoretical foundations of modern chemical analysis; Mir publishers; Moscow, 1980.
- Pérez, S.V. Química de las dosiluciones. Diagramas y cálculos gráficos; Alhambra, 1985.
- Baeza, A. Química analítica. Expresión gráfica de las reacciones químicas; S. y G. editores, 2006.