

# PRIMER EXAMEN PARCIAL DE UN CURSO DE QUÍMICA ANALÍTICA II

Alberto Rojas Hernández y Ma. Teresa Ramírez Silva\*

### RESUMEN

En este Reactivo presentamos un ejemplo de examen típico del curso de Química Analítica II de la carrera de Químico de la UAM-Iztapalapa. Con esto esperamos obtener comentarios para confrontar nuestras ideas con la de profesores de otras instituciones de enseñanza.

### ABSTRACT

In this Reactivo we show a typical examination of the Analytical Chemistry II course from the Chemist curriculum of the Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. We hope to receive comments from professors of other institutions.

### INTRODUCCIÓN

En la carrera de Químico de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, existen tres cursos de química analítica dentro del plan de estudios.

En el primer curso se estudian los fundamentos de la química de las soluciones acuosas para sistemas polidionadores de partícula (del tipo  $ML_n/.../ML/M/L$ ) por medio de un universo de reacciones de formación (o disociación), de dismutación y de interacción química entre diferentes sistemas polidionadores de la partícula L; con el apoyo de métodos gráficos tales como los diagramas de distribución de especies (Butler, 1964), los diagramas de zonas de predominio y las escalas de predicción de reacciones (Charlot, 1967). Se presentan también criterios de estabilidad de especies y de cuantitatividad de reacciones.

Como en este primer curso se explica, los sistemas acuosos son multicomponentes y multirreaccionantes; es por ello que para encontrar las condiciones de equilibrio termodinámico de esos sistemas debe resolverse un sistema de ecuaciones simultáneas con varias incógnitas definiendo por una base de equilibrios inde-

pendientes y ecuaciones de balance de componentes y de carga (Smith y Missen, 1987). Es así que, para simplificar la resolución del estado de equilibrio del sistema, se buscan métodos que permitan reducir la base de equilibrios independientes (cuando es posible) a uno solo, que se denomina equilibrio principal o representativo (Chaston, 1975; Pérez Arévalo, 1988). Es así que los criterios de estabilidad de especies y de cuantitatividad de reacciones sirven para analizar los casos límite en que puede determinarse el estado de equilibrio de la solución mediante un equilibrio representativo. El curso en cuestión se ejemplifica profusamente con cálculos de equilibrio de sistemas ácido-base (según la definición de Brønsted). En la parte práctica del curso los estudiantes utilizan métodos instrumentales de potenciometría a intensidad nula y de espectrofotometría en la región visible del espectro electromagnético.

En el segundo curso se estudia el equilibrio termodinámico de soluciones acuosas en condiciones de amortiguamiento múltiple, mediante la aplicación de constantes multicondicionales y los conceptos aprendidos en el curso anterior. Los métodos que se aplican para este estudio, así como la nomenclatura, han sido desarrollados por profesores de la UAM-Iztapalapa (Rojas Hernández, *et. al.* 1986, 1991).

Cabe señalar que en este segundo curso los estudiantes aprenden a analizar las condiciones de operación de una técnica de valoración volumétrica mediante la identificación de las especies predominantes en un sistema bajo condiciones de amortiguamiento múltiple, las cuales reaccionan a través de un equilibrio representativo y permiten predecir e interpretar algunas de las propiedades fisicoquímicas de la

Sección dedicada al intercambio de ideas sobre instrumentos de evaluación del aprendizaje.

\* Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Departamento de Química. Apdo. Postal: 55-534, 09340 México, D. F. **Recibido:** 1 de diciembre de 1991. **Aceptado:** 24 de marzo de 1992.

solución. Así, se toman como ejemplo las valoraciones complejométricas y redox de sistemas a pH amortiguado, en las que el punto de equivalencia se detecta con algún indicador químico o mediante técnicas espectrofotométricas o potenciométricas.

El reactivo que se presenta a continuación fue aplicado en el último trimestre de 1991 a los estudiantes del curso de Química Analítica II.

TIEMPO DE EXAMEN: 3.0 horas.

CALIFICACIÓN APROBATORIA: 6.0/10.0.

## REACTIVO

1. Construir los diagramas de zonas de predominio para las especies de  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Y}^{4-}$  y  $\text{CuY}^{2-}$  en el plano  $\text{pAcO}'/\text{pH}$ . (2.5 puntos.)
2. Demostrar mediante el diagrama de existencia predominio  $\text{pCu}^{2+}/\text{pH}$  a  $\text{pAcO}' = 1.0$  que cuando  $[\text{Cu}^{2+}]_{\text{max}} = 10^{-2} \text{ M}$  el hidróxido cúprico no precipita a  $\text{pH} = 6.0$ . (2.5 puntos.)
3. Encontrar el equilibrio representativo para la valoración  $\text{Cu}^{2+} + \text{Y}^{4-} \rightleftharpoons \text{CuY}^{2-}$  y su constante bicondicional a  $\text{pAcO}' = 1.0$  y  $\text{pH} = 6.0$ . ¿Es cuantitativa la reacción en estas condiciones si  $[\text{Cu}^{2+}]_{\text{max}} = 0.01 \text{ M}$ ? Explicar. (2.0 puntos.)

4. Trazar la curva teórica  $A^{(720)} \left( \frac{v_0 + v}{v_0} \right) = f(v)$  para la valoración de 25.0 mL de solución acuosa de nitrato cúprico 0.01 M, a pH impuesto de 6.0 usando amortiguador de  $\text{AcOH}/\text{NaAcO}$  0.1 M, con solución acuosa de la sal disódica del EDTA 0.1 M. ¿Puede detectarse el punto de equivalencia espectrofotométricamente? Explicar. Suponer que las celdas utilizadas tienen una longitud de paso óptico ( $l$ ) de 1.0 cm. (2.0 puntos.)
5. Se tiene una solución acuosa que contiene

nitrato cúprico de concentración desconocida. 5.0 mL de esta solución se aforan a 25.0 mililitros en un matraz volumétrico con una solución acuosa amortiguadora de  $\text{AcOH}/\text{NaAcO}$  de  $\text{pH} = 6.0$ , de manera que la concentración final del amortiguador es de 0.1 M. Al valorar 10.0 mL de esta última solución con solución acuosa de la sal disódica del EDTA 0.098 M se gastan 1.25 mL para llegar al punto de equivalencia. ¿Cuántos gramos de cobre por litro hay en la solución de partida? (1.0 punto.) (Ver Figura 1.)

EDTA = ácido etilendiaminotetraacético =  $\text{H}_4\text{Y}$ ;  
 $\text{AcOH}$  = ácido acético

$v$  = volumen de solución valorante agregado durante la valoración

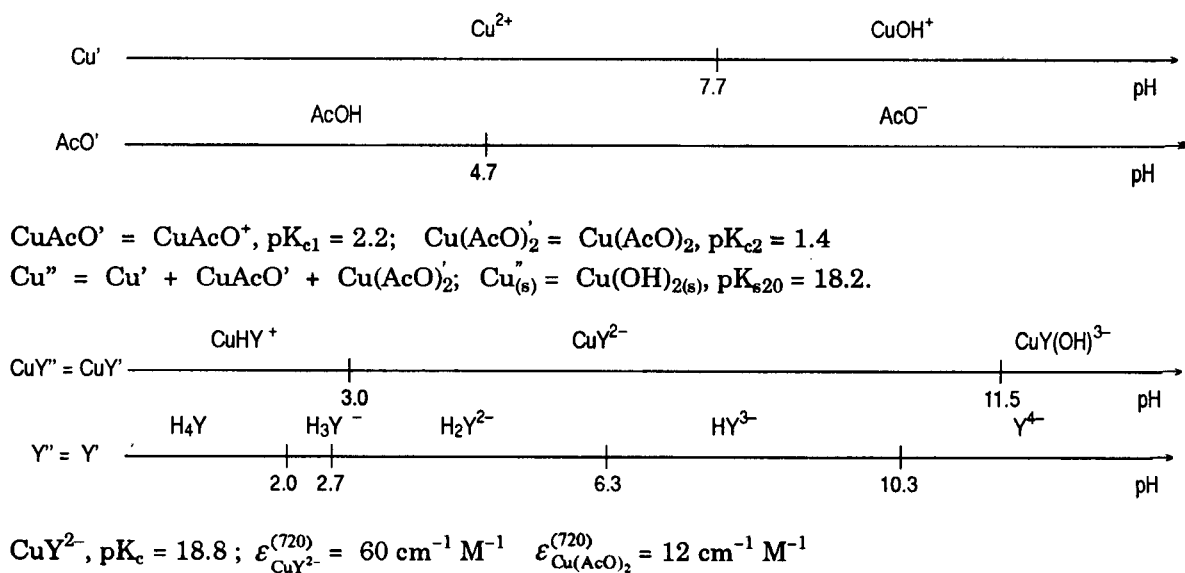
$v_0$  = volumen inicial de la solución valorada

Suponga que el sistema de valoración cumple con las leyes de Beer y de aditividad, de manera que

$$A^{(720)} = \epsilon_{\text{CuY}^{2-}}^{(720)} l [\text{CuY}^{2-}] + \epsilon_{\text{Cu}(\text{AcO})_2}^{(720)} l [\text{Cu}(\text{AcO})_2]$$

siendo  $\epsilon_{\text{CuY}^{2-}}^{(720)}$  y  $\epsilon_{\text{Cu}(\text{AcO})_2}^{(720)}$  los coeficientes de absor-

Figura 1.  
 Datos tomados del libro de R. W. Ramette (1983). Sólo los datos de los complejos del  $\text{Cu}(\text{II})$  con las especies provenientes del EDTA se tomaron del libro de A. Ringbom (1979).



tividad molar de las especies  $\text{CuY}^{2-}$  y  $\text{Cu}(\text{AcO})_2$  a una longitud de onda ( $\lambda$ ) de 720 nm, respectivamente.  $A^{(720)}$  es la absorbancia de la solución a esa  $\lambda$ .

#### COMENTARIOS AL REACTIVO PARA LOS LECTORES DE EDUCACIÓN QUÍMICA

Como puede observarse, los datos de las constantes de acidez de los equilibrios se encuentran implícitas en cada uno de los diagramas de zonas de predominio en escala de pH. Se prefiere esta presentación en esos datos para que los estudiantes no pierdan tiempo construyéndolos a partir de los que se encuentran en la literatura, por medio de la ley de Hess.

Por otra parte, se han definido también las especies generalizadas a primer orden ( $\text{Cu}'$ ,  $\text{AcO}'$ ,  $\text{CuAcO}'$ ,  $\text{Cu}(\text{AcO})_2'$ ,  $\text{Y}'$ ,  $\text{CuY}'$  y  $\text{C}'_{(s)}$ ) y las especies generalizadas a segundo orden ( $\text{Cu}''$ ,  $\text{Y}''$ ,  $\text{CuY}''$  y  $\text{Cu}''_{(s)}$ ).

En el primer caso, el superíndice (') indica la escritura implícita de  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$ . (Por ejemplo:  $\text{Cu}' = \text{Cu}^{2+} + \text{CuOH}^+$ ;  $\text{AcO}' = \text{AcO}^- + \text{AcOH}$ , etc.) En el segundo caso, el superíndice (") indica la escritura implícita de  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$  y  $\text{AcO}^-$ . De esta forma,  $\text{Cu}'' = \text{Cu}' + \text{CuAcO}' + \text{Cu}(\text{AcO})_2' = \text{Cu}^{2+} + \text{CuOH}^+ + \text{CuAcO}' + \text{Cu}(\text{AcO})_2$  y  $\text{Cu}''_{(s)} = \text{Cu}'_{(s)} = \text{Cu}(\text{OH})_{2(s)}$  (Rojas Hernández *et al.*, 1991, 1992).

Si bien es cierto que esta nomenclatura no está muy difundida, aunque ya existen trabajos en la literatura con ella (Rojas Hernández *et al.*, 1988, 1989a, 1989b, 1991) se considera que es más explícita que la de A. Ringbom (1979) y por eso es la que se enseña en los cursos de química analítica de la UAM-Iztapalapa para la carrera de Químico. Sin embargo, como esos cursos son de nivel licenciatura, se enseña a los alumnos a hacer una aproximación sobre la definición de las especies generalizadas, simplificando la suma que define a una especie generalizada por la especie predominante bajo ciertas condiciones dadas. De esta forma se construyen equilibrios representativos que involucran solamente a las especies predominantes y que tienen asociada una constante condicional (si se ha impuesto una condición, como el pH), una constante bicondicional (si se han impuesto dos condiciones, como el pH y el pAcO') o una constante multicondicional (si se han impuesto múltiples condiciones). Para alguien poco familiarizado con esta metodología, puede parecer rebuscado o innecesario el realizar tanta abstracción. Invitamos a los lectores de esta revista a que intenten resolver este reactivo, a que lean su resolución en el próximo número y a que manifiesten

sus opiniones acerca del mismo en la sección DOBLE VÍA de esta revista.

#### REFERENCIAS

- Butler, J. N. *Ion equilibrium*. Addison Wesley. New York. 1964.
- Charlot, G. *Cours de chimie analytique générale*. Masson. Paris. 1967.
- Chaston, S.H.H. *J. Chem. Educ.* **52**, 207 (1975).
- González, I.; A. Rojas. *Contactos* **3**[2] 61 (1988).
- González, I.; A. Rojas. *Contactos* **3**[3] 39 (1989a).
- González, I.; A. Rojas. *Contactos* **4**[1] 18 (1989b).
- Pérez Arévalo, J. F. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, UNAM. 1988.
- Ramette, R. W. *Equilibrio y análisis químico*. Fondo Educativo Interamericano. México. 1983.
- Ringbom, A. *Formación de complejos en química analítica*. Alhambra. Madrid. 1979.
- Rojas, A.; I. González. *Anal. Chim. Acta* **187**, 279 (1986).
- Rojas Hernández A.; M. T. Ramírez; I. González; J.G. Ibáñez. *Anal. Chim. Acta* **246**, 435 (1991).
- Rojas Hernández A.; M. T. Ramírez; I. González. *Anal. Chim. Acta* Sometido para publicación (1992).
- Smith, W. R.; R. W. Missen. *Análisis del equilibrio en reacciones químicas: teoría y algoritmos*. Limusa. México. 1987.

### QUIMOTRIVIA-REJECTA

Contra la idea de que la ciencia es fría, racional, impersonal (implícita en la enseñanza oficial de ciencias) está el siguiente pensamiento de Albert Einstein:

*"La emoción más hermosa y profunda que podemos experimentar es la sensación de lo místico. Es la semilla de toda ciencia verdadera. Aquel que es ajeno a esta emoción, aquel que no puede maravillarse y quedar sobrecogido de terror ante el Misterio del Cosmos está, de hecho, muerto.*

*Saber que existe lo impenetrable a nuestra inteligencia, y que se manifiesta como la mayor Sabiduría y la más radiante Belleza... Saber que nuestras limitadas facultades sólo lo pueden conocer en sus formas más primitivas... Saber esto, ¡sentirlo!, es tocar el centro de la verdadera religiosidad. Yo creo que la experiencia religiosa cósmica es el motor más fuerte y noble de la investigación científica."*