

Los metales, las monedas y su composición

Oscar A. Díaz, Elida Alvarez¹

Abstract (*Metals, coins and their composition*)

Through this work, an experience with metals is proposed. It implies: a) Investigation of the presence of metals in nature. b) Bibliographical searching through Internet, if possible for a chemical method, in order to identify the selected metal, and its obtainment method, as well. c) The application of an interesting analytic technique that allows the determination of the constituents concentration of a known alloy.

Introducción

En su mayoría, los metales se encuentran en la naturaleza combinados químicamente en forma de minerales; esto es, como sustancias naturales, con una composición química característica, ej.: CaCO_3 (calcita, piedra caliza), Al_2O_3 (corindón), FeS_2 (pirita), Cu_2O (cuprita), $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ (hidroxiapatita), NaCl (halita), CaSO_4 (anhidrita), $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ (berilo).

Además de los minerales presentes en la corteza terrestre, el agua de mar es una rica fuente de algunos iones metálicos. Se destacan también las importantes funciones de los metales en procesos biológicos, demostradas por las investigaciones médicas y nutricionales en las últimas décadas.

La metalurgia es la ciencia y tecnología de los metales; su campo puede dividirse en dos grandes ramas:

- 1) la metalurgia de procedimiento o extractiva: es la ciencia de obtener metales de sus minerales, y abarca la extracción del mineral, la concentración y refinación de metales y aleaciones.
- 2) la metalurgia física: es la ciencia que se ocupa de las características físicas y mecánicas de los metales y aleaciones, así como también estudia sus propiedades, según las afectan tres variables:
 - a) su composición química: los constituyentes de

una aleación; b) el tratamiento mecánico: cualquier operación que origina un cambio de forma, como la laminación, el estirado, el martillado o troquelado, el moldeado o el fresado; c) el tratamiento térmico, o con calor: el efecto de la temperatura y el índice de calentamiento y enfriamiento (Avner, 1996).

Los materiales metálicos, cuando se consideran en un amplio sentido, pueden dividirse en dos grandes grupos: ferrosos y no ferrosos. Los primeros tienen como base al hierro y los segundos poseen algún elemento diferente al hierro como constituyente principal. La mayor parte de los materiales no ferrosos está formado por las aleaciones de cobre, aluminio, magnesio, níquel, estaño, plomo y cinc.

Una aleación es una sustancia con propiedades metálicas y compuesta por dos o más elementos químicos, de los cuales por lo menos uno es un metal elemental.

El cobre y el níquel forman, por ejemplo, aleaciones denominadas cuproníqueles, que contienen hasta 30% de Ni. Se emplean mucho en tubos de condensadores, destilerías, evaporadores e intercambiadores de calor para recipientes navales y plantas de energías costera. Una aleación de cobre con 25% de níquel se utiliza para acuñar monedas.

En este trabajo se propone una experiencia con metales que implica: 1) la investigación de su presencia en la naturaleza. Por lo tanto el mismo comienza con la búsqueda de un mineral en el lugar donde residen los alumnos, o en su defecto se puede disponer de un mineral del depósito de reactivos del laboratorio; 2) la búsqueda bibliográfica de un método o reacción química que permita la identificación del metal seleccionado, así como también un método de obtención; es muy importante la utilización de Internet para este fin; 3) la aplicación de una metodología analítica interesante que permita determinar la concentración de los constituyentes de una aleación conocida, en este caso una moneda. La descripción de esta última experiencia es la base de este trabajo.

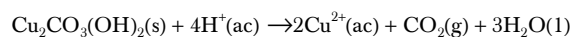
Como ejemplo supongamos que el mineral seleccionado es de cobre. Los dos tipos principales de mineral de cobre son los sulfuros mixtos de hierro y cobre como la calcopirita, CuFeS_2 y los carbonatos

Cátedra Química Analítica. Facultad de Ingeniería.
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Avda Del Valle 5737. (7400) Olavarría. Argentina.
E-mail: odiaz@fio.unicen.edu.ar;
E.mail: ealvarez@fio.unicen.edu.ar

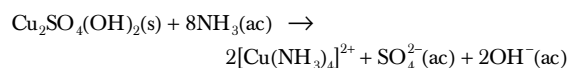
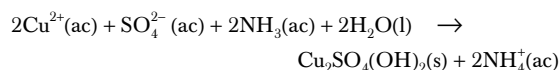
Recibido: 6 de enero de 2000; aceptado: 16 de octubre de 2000.

básicos como la malaquita, $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ y la azurita, $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$.

Si el mineral encontrado fuera por ejemplo malaquita, se debe proceder a caracterizarlo; para ello se solubiliza el mineral con solución de H_2SO_4 1 M.



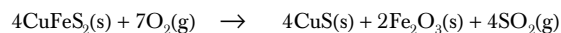
Una vez que se tiene el cobre en solución se determina su presencia con solución de NH_3 6M. Sobre 0.5 mL de la solución problema se adiciona gota a gota NH_3 6M, se forma un precipitado verde de sal básica, que se disuelve fácilmente en exceso de reactivo originando un intenso color azul del ion complejo tetramincobre(II) (Burriel Martí y otros 1992).



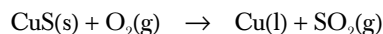
Posteriormente se pasa a la búsqueda bibliográfica de un método de obtención de cobre.

El cobre es lo suficientemente inerte como para poder encontrarse en la naturaleza en estado no combinado, aunque gran parte está en forma de sulfuros, principalmente como mineral calcopirita. El mineral triturado y pulverizado se separa del resto de la roca por flotación con espuma. En este proceso el mineral se mezcla con aceite, agua y tensoactivos. Después se hace circular aire a través de la mezcla, el mineral, cubierto de aceite, flota sobre la superficie con la espuma del tensoactivo, y las impurezas no deseadas (la ganga) quedan en el fondo.

Los procesos de extracción de metales de sus minerales se clasifican generalmente en pirometalúrgicos si emplean altas temperaturas, o hidrometalúrgicos si se usan soluciones acuosas. El cobre se extrae por ambos métodos. En el primero el mineral enriquecido se tuesta en aire:



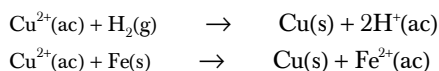
Este paso y el siguiente contribuyen de una manera alarmante a la cantidad de SO_2 arrojado a la atmósfera, aun contando con las precauciones que se toman. El CuS es entonces reducido por fundición. En esta etapa, el aire circula a través de la mezcla fundida eliminando el sulfuro como SO_2 .



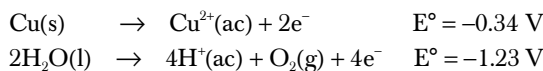
A la mezcla se añade piedra caliza y arena dando

una escoria fundida que elimina alguna de las impurezas.

En el proceso hidrometalúrgico para la extracción del cobre, los iones Cu^{2+} se forman primero por la acción del H_2SO_4 sobre los minerales. Después, el metal se obtiene por reducción de estos iones en solución acuosa. En principio, la reducción puede llevarse a cabo con cualquier agente reductor que tenga un potencial más negativo que el cobre. Entre los baratos y por tanto, económicamente viables, se encuentran el hidrógeno y las granallas de hierro (Atkins, 1992). Por ejemplo:



El cobre crudo que se obtiene por métodos pirometalúrgicos no es adecuado para sus aplicaciones eléctricas ya que las impurezas reducen mucho la conductividad del metal. La purificación del cobre se logra por electrólisis. Placas muy grandes de cobre crudo hacen las veces de ánodos de la celda y hojas delgadas de cobre puro sirven como cátodos. El electrolito consiste en una solución ácida de CuSO_4 . La aplicación de una corriente de voltaje adecuado provoca la oxidación de cobre metálico en los ánodos y la reducción de Cu^{2+} para formar cobre metálico en los cátodos. Estas reacciones se logran porque el cobre se oxida con más facilidad que el agua. Como se observa en las siguientes reacciones, acompañadas por sus potenciales estándar de oxidación (se oxida con más facilidad el que presenta mayor potencial de oxidación).



Las impurezas del ánodo de cobre comprenden plomo, cinc, níquel, arsénico, telurio y otros metales preciosos, entre ellos oro y plata. Las impurezas metálicas más activas que el cobre se oxidan con facilidad en el ánodo, pero no se depositan en el cátodo, debido a que su potencial de reducción es más negativo que el del cobre. No obstante, los metales menos activos no se oxidan en el ánodo. En su lugar se depositan debajo del ánodo como un lodo que se separa y se procesa para recuperar los metales valiosos (Brown y otros, 1996).

En el siguiente paso, se propone la metodología para la determinación de la concentración de los constituyentes de una aleación, representada en este caso por una moneda.

El método se basa en medidas espectrofotomé-

tricas de los complejos de ambos metales con EDTA (solución de la sal disódica del ácido etilendiamino-tetracético) en medio ácido.

Los espectros de absorción de ambos complejos presentan superposición en la región visible; por tal razón, para determinar la concentración de los complejos mencionados, así como también la concentración de Cu y Ni en las monedas, se utiliza el análisis de regresión lineal multilongitud de onda (ARLM). (Blanco y otros 1989; Harris, 1992).

El complejo Cu-EDTA de color azul presenta un máximo de absorción extendido entre 700 y 750 nm. Este depende del pH y no de la naturaleza del ácido presente, mientras que el complejo Ni-EDTA verde azulado presenta máximo de absorción en el intervalo de 580 a 750 nm, entre los valores de pH 1 a 5 (Pribil, 1972).

El ARLM se basa en la obtención de una relación lineal entre la absorbancia y la concentración de analito en solución, utilizando para ello lecturas de absorbancia a varias longitudes de onda. Permite además resolver una mezcla sin tener que separar cada uno de los constituyentes, situación que desde el punto de vista analítico es muy favorable.

La solución problema contiene Cu y Ni; entonces, y recordando la Ley de Lambert-Beer:

$$A_M = \epsilon_{Ni} \cdot b \cdot C_{Ni} + \epsilon_{Cu} \cdot b \cdot C_{Cu} \quad (1)$$

donde A_M es la absorbancia de la solución que contiene Cu y Ni, ϵ_{Ni} y ϵ_{Cu} las absorptividades molares de Cu y Ni como complejos de EDTA respectivamente, y C_{Cu} y C_{Ni} las concentraciones de las especies mencionadas.

Si se designa a la concentración de una solución patrón de Cu como $C_{Cu(p)}$, y a la concentración de una solución patrón de Ni como $C_{Ni(p)}$ se tiene para cada especie:

$$A_{Ni(p)} = \epsilon_{Ni} \cdot b \cdot C_{Ni(p)} \quad \text{y} \quad A_{Cu(p)} = \epsilon_{Cu} \cdot b \cdot C_{Cu(p)} \quad (2)$$

Despejando de cada una de estas expresiones la absorptividad molar, reemplazando en la expresión (1), y reordenando se obtiene:

$$\frac{A_M}{A_{Ni(p)}} = \frac{C_{Ni}}{C_{Ni(p)}} + \frac{A_{Cu(p)}}{A_{Ni(p)}} \times \frac{C_{Cu}}{C_{Cu(p)}} \quad (3)$$

Si se representa en un gráfico $A_M/A_{Ni(p)}$ contra $A_{Cu(p)}/A_{Ni(p)}$ a varias longitudes de onda, se obtiene una recta de cuya pendiente y ordenada al origen se calcula la concentración de Cu y de Ni en la solución en la que se encuentran juntos.

Parte experimental

Reactivos necesarios

Solución stock de Cu^{2+} de 1.5 mg/mL a partir de $CuCl_2 \cdot 2H_2O$. Solución stock de Ni^{2+} de 1.5 mg/mL a partir de $NiCl_2 \cdot 5H_2O$. Solución reguladora de $CH_3COOH - CH_3COONa$, 0.200 M, pH=4 (preparada mezclando 750 mL del ácido con 150 mL de la sal y diluyendo a 1 L). Solución de EDTA disódico 0.075 M. HNO_3 conc. H_2SO_4 conc. Solución de NH_3 6 M. Acetona.

Material necesario

Matraces aforados de 100 y 250 mL. Vasos de precipitados de 250 mL. Balanza analítica. Espectrofotómetro preferentemente de barrido, para trabajar entre 500 y 900 nm. Una moneda.

Procedimiento

Se preparan por separado soluciones de Ni^{++} y de Cu^{2+} de 0.75 mg/mL por dilución de las soluciones stock a las cuales se les agregan 40 mL de solución de EDTA 0.075 M y 3 mL de solución reguladora, completando el volumen a 100 mL en matraz aforado. Estas constituyen las soluciones patrón.

Se lava una moneda con soluc. de NH_3 6 M, luego con agua y por último con acetona. Una vez seca la muestra se pesa alrededor de 0.500 g del anillo plateado de una moneda (en este caso moneda argentina de \$1) o de una moneda de otro valor, pero plateada, porque las doradas están acuñadas con otra aleación.

Agregar la muestra pesada a un vaso de precipitados, que contiene aproximadamente 10 mL de agua, adicionar 1 mL de H_2SO_4 conc., y 2 mL de HNO_3 conc. Calentar hasta eliminación de humos blancos. Una vez disuelta la muestra se diluye a 250 mL en matraz aforado.

Se toma una alícuota de 50 mL, se agregan 3 mL de solución reguladora pH = 4 (controlar el pH, de lo contrario se puede agregar mayor volumen de solución reguladora, respetando el volumen final) y 40 mL de solución de EDTA; se lleva a 100 mL en matraz aforado.

Utilizando un espectrofotómetro en la región del visible, se obtienen los espectros de absorción de las soluciones Cu^{2+} , Ni^{2+} patrón y de la solución de la moneda, entre 500 y 900 nm.

Resultados y discusión

En la figura 1 se observan los espectros superpuestos obtenidos. Se seleccionan al menos cinco longitudes de onda donde se verifica superposición y se leen los

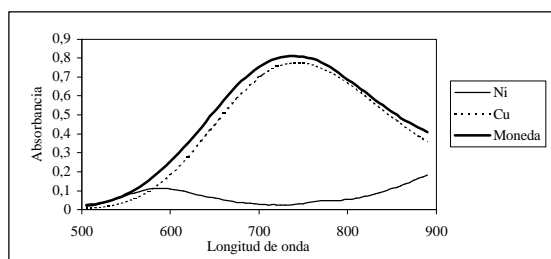


Figura 1. Espectros de absorción.

valores de absorbancia para cada una de las tres soluciones.

En la tabla 1 se observan las longitudes de onda seleccionadas (L.O.), las absorbancias (A) de cada solución patrón, las absorbancias para una determinación de la moneda, y los cocientes resultantes de la expresión (3) se observa en ña figura 2.

La representación gráfica de los datos experimentales y la mejor recta que corresponde a la expresión (3).

Del valor de la ordenada al origen se calcula la concentración de Ni^{2+} en la solución problema y del valor de la pendiente se calcula la concentración de Cu^{2+} en la misma solución resultando:

$$\text{Ordenada al origen} = 0.3366$$

Teniendo en cuenta las diluciones practicadas y el peso de la aleación (0,510 g) la concentración resultante es:

$$C_{\text{Ni}} = 24.75\%$$

Se procede de igual manera con la pendiente y se obtiene la concentración de Cu.

$$C_{\text{Cu}} = 76.18\%$$

De la comunicación "A" 2539 13/5/97 del Banco Central de la República Argentina, se desprende que el anillo plateado de las monedas de \$1 está constituido por una aleación de Cu 75%, Ni 25 %. Los resultados obtenidos para esta muestra indican sólo

Tabla 1. Datos de la recta.

L.O.	A_{Cu}	A_{Ni}	A_{M}	$A_{\text{Cu}}/A_{\text{Ni}}$	$A_{\text{M}}/A_{\text{Ni}}$
615	0.308	0.098	0.352	3.143	3.592
655	0.534	0.057	0.574	9.368	10.070
695	0.714	0.032	0.753	22.313	23.531
735	0.775	0.026	0.811	29.808	31.192
775	0.716	0.047	0.754	15.234	16.043

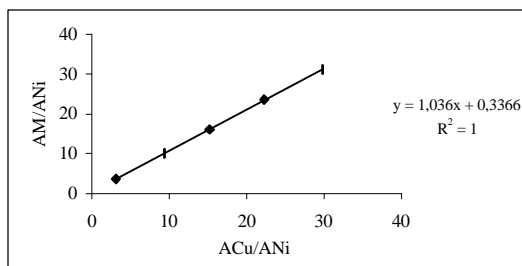


Figura 2. Representación gráfica de la recta ARLM.

un error relativo del 1% por defecto, para el Ni y del 1.57% por exceso para el Cu.

Conclusión

Este trabajo, si bien presenta un diseño elaborado, especificando en forma detallada el modo de operar, intenta ser un disparador para motivar el estudio del tema metales. Comienza con la propuesta de una situación problemática de interés, continúa con la búsqueda bibliográfica y el uso de la informática, permite realizar una experiencia interesante, analizar y discutir los resultados obtenidos, como base para aplicarla a otra situación.

Se propone para alumnos de Química e Ingeniería Química, aunque también podría utilizarse con alumnos de Metalurgia, orientando la experiencia hacia los métodos de obtención y la manufactura de metales y aleaciones

No se debe concluir sin antes mencionar el problema del agotamiento mundial de algunos minerales, a partir de los cuales se obtienen metales que tienen diversos fines estructurales. Por lo tanto, es necesario tomar conciencia sobre la conservación de los recursos y dedicar esfuerzos al reciclado, reuso y sustitución de los metales, con el fin de tener disponibles a los mismos por mucho más tiempo. ▀

Referencias

- Atkins, P. W. *Química General*. Ediciones Omega. España 1992. p.776.
- Avner, S *Introducción a la metalurgia física*. Editorial McGraw-Hill. México 1996. p. 10.
- Blanco, M. Iturriaga, H., Maspoch, S., Tarín, P *J. Chem. Educ*, **66**, [2]178-180. 1989.
- Brown, T., LeMay, H.E. Bursten, B *Química. La Ciencia Central*. Prentice-Hall Hispanoamericana. México. 1996. p.979-980.
- Burriel Martí, F., Lucena Conde, F., Arribas Jimeno, S., Hernández Mendez, J. *Química Analítica Cualitativa*. 14 edición. Paraninfo. España. 1992. p. 486.
- Harris, D. *Análisis Químico Cuantitativo*. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 1992. p. 512-513.
- Pribil, R.. *Analytical Applications of EDTA and related Compounds*. Pergamon Press. Inglaterra. 1972. p. 144-145.