

# Comportamiento Electroquímico de Cobre en Efluentes de Electrólisis

Vladimir Alejandro Arias Arce<sup>1</sup> Rosa A. Coronado<sup>1</sup>, Luis E. Puente S<sup>1</sup>. Daniel Lovera Davila<sup>1</sup>

## RESUMEN

Estudio del comportamiento electroquímico del cobre nos permite identificar y caracterizar en forma parcial la naturaleza de la solubilidad iónica acuosa de impurezas presentes en la masa de los cuerpos mineralizados de los materiales metálicos de especies minerales de cobre y a partir de ello obtener secuencias en la identificación y caracterización de efluentes de la actividad hidrometalúrgica de minerales con contenidos valiosos de cobre.

La determinación de espectros de absorción de compuestos con núcleos metálicos en el rango UV Visible a partir de medios sulfurados ácidos conteniendo metales base permiten la implementación de la separación secuencial de elementos y especies que son considerados perjudiciales y denotan contaminación del medio ambiente, actuando en contra de sostenibilidad ambiental.

**Palabras clave:** Solución rica, comportamiento electroquímico, caracterización de efluentes, solubilidad iónica.

## INTRODUCCION

La utilización de procesos físicos y químicos para el tratamiento de efluentes industriales ocurrió, históricamente, luego de la masificación de los procesos industriales, se ha trabajado arduamente para contrarrestar el impacto negativo sobre el medio ambiente. Obteniéndose resultados muy confidenciales y dispersos que no satisfacen las necesidades del sector productivo contemporáneo.

Hoy en día, es de primordial importancia planificar, el tratamiento de efluentes, en forma paralela al proceso de construcción de la planta de producción, y en cumplimiento a las normativas ambientales vigentes (3,4).

Por ello es imprescindible la identificación de las variables químicas para lograr el abatimiento de los elementos presentes en los productos finales, o sea los procesos "End of Pipe" o al final de la línea.

A pesar que las rutas tecnológicas para procesar un material residual son de diversa índole, en nuestro medio no se han efectuado estudios exhaustivos para el tratamiento de los efluentes líquidos provenientes de las plantas de concentración y refinación de cobre.

El ritmo actual del avance del desarrollo tecnológico, por otro lado teniendo en cuenta la misión institucional y, más aún por el rol protagónico que se desea seguir manteniendo la

---

<sup>1</sup> Instituto de Investigación. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, UNMSM. Correo: [iigeo.2010@gmail.com](mailto:iigeo.2010@gmail.com)

universidad nos vemos en la obligación de estar en la búsqueda y creación constante de nuevas formas del conocimiento y su interpretación cuasi comparativa con las tradicionales formas de hallar las propiedades físicas y químicas de los metales los cuales no tienen ninguna representación del proceso productivo.

La identificación y caracterización plena nos ayudará a buscar la optimización de los procesos productivos en armonía con el entorno ecológico y de la sostenibilidad.

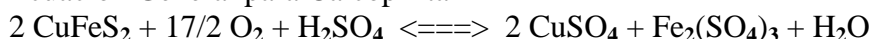
## ANTECEDENTES

La precipitación química con sulfuro de sodio y luego un proceso de adsorción mediante resinas de intercambio iónico fue abordado por L. Puente (5), llegando a la determinación de parámetros que conllevan a la obtención de efluentes dentro de los límites permisibles ambientales

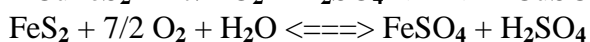
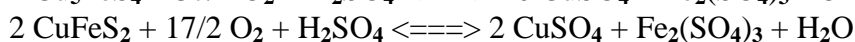
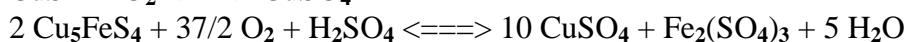
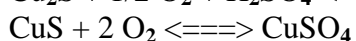
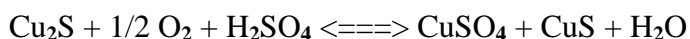
El cálculo de las constantes de equilibrio de los complejos auro-tiosulfatos, Au (Ligante) n, fue realizada mediante mediciones de espectrofotometría UV-V, lográndose la absorción selectiva de fotones de compuestos auro tiosulfatos en medio básico, logrando la representación fundamental en el rango Visible del espectro fotométrico.

Por otro lado la caracterización teórica para determinar la solubilidad y ocurrencia química, de los compuestos sulfurados de cobre, podemos resumirlo en las siguientes ecuaciones:

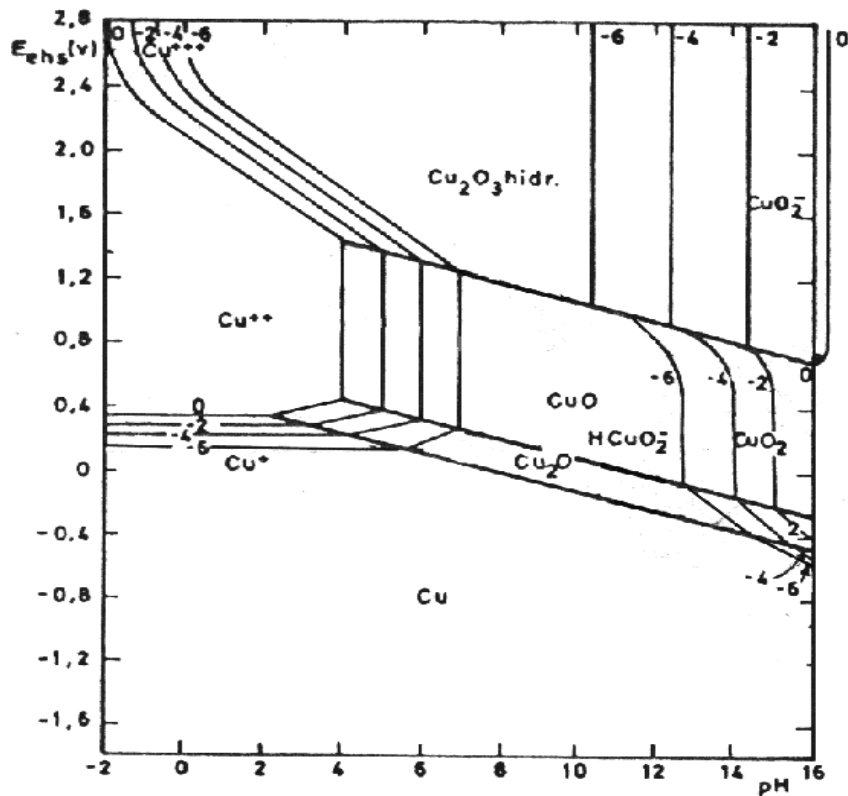
Ecuación General para Calcopirita



## REACCIONES QUÍMICAS GENERALES



Se observa mayor facilidad de transformar los sulfuros ricos en cobre ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) con respecto a los pobres ( $\text{CuFeS}_2$ ), dado el mayor consumo de oxígeno que éstos últimos requieren, las que se pueden identificar y ubicar en el siguiente diagrama de estabilidad. Grafica 1



## DISEÑO EXPERIMENTAL

Si bien es cierto que el tratamiento de efluentes involucra efectuar procesos de pretratamientos y/o tratamientos primarios de separación sólido-líquido, seguido de operaciones unitarias como neutralización, precipitación y extracción. Dependiendo del destino que se le dará a los efluentes materia de tratamiento, optándose por:

1. Determinar el mecanismo de la lixiviación mediante el uso de ácido sulfúrico.
2. Adquirir la muestra representativa de proceso.
3. Efectuar análisis de contenido metálico
4. Interpretación de resultados.

## MÉTODOS Y RESULTADOS

Según los objetivos planteados inicialmente, se pretende generar alternativas de procesos y luego evaluarlas. Todo ello a nivel teórico apoyado por los datos bibliográficos experimentales, lográndose identificar las siguientes especies minerales:

Tabla N° 1 Especies sulfuradas de Cobre

Mineral	Composición	Color
Calcopirita	$\text{FeCuS}_2$	Amarillo Latón
Calcosina o Calcosita	$\text{Cu}_2\text{S}$	Gris azulado.
Covelina o Covelita	$\text{CuS}$	Azul a Celeste
Bornita	$\text{FeCu}_5\text{S}_4$	Rosa café a naranja

<b>Digenita</b>	<b>Cu<sub>9</sub>S<sub>5</sub> (As)</b>	<b>Azulado, gris azulado.</b>
<b>Tenantita</b>	<b>(Cu<sub>3</sub>AsS<sub>3,25</sub> (Fe,Zn,Ag))</b>	<b>Gris. Tinte azulado.</b>
<b>Enargita</b>	<b>Cu<sub>3</sub>AsS<sub>4</sub></b>	<b>Gris rosado, Café rosa</b>
<b>Idaita</b>	<b>Cu<sub>3</sub>FeS<sub>4</sub></b>	<b>Rojo anaranjado.</b>

La lixiviación se desarrolla bajo condiciones semi estandarizadas a nivel industrial, obteniéndose resultados concordantes a la naturaleza del mineral, Tabla siguiente:

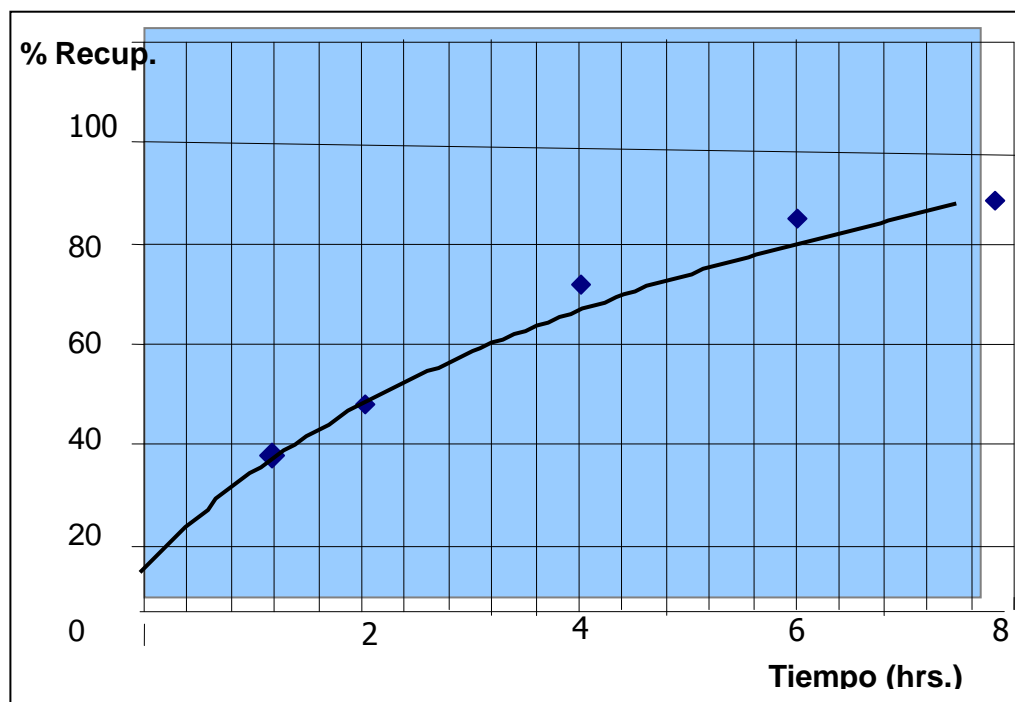
**Tabla N° 2 Resultados de las pruebas de lixiviación en botellas**

<b>Prueba</b>	<b>Tiempo Hrs</b>	<b>Pre-Trat</b>	<b>Reactiv ml</b>	<b>% Rec.</b>
A	4	-----	2.0	3.8
B	8	-----	2.5	4.2
C	4	400	2.0	86.50
D	8	500	2.5	87.21

Las condiciones que favorecieron la disolución:

- a) Un pH entre 1,5 y 3,5;
- b) Temperatura ambiente 18 °C.
- c) Agitación en botellas, oxigenación limitada.

**Gráfica N° 2 Disolución en función al tiempo**



El análisis químico cuantitativo por la técnica de ICP determina la composición de la muestra de cabeza y del residuo sólido remanente del proceso de lixiviación, predominando los contenidos de hierro, cobre, plata, plomo y zinc, conforme se puede observar en la tabla N° 3

**Tabla N° 3 Composición química del mineral ensayado y del sólido residual después de la lixiviación (ensayos realizado por la técnica de ICP)**

<b>Elemento</b>	<b>Ag</b> ppm	<b>Al</b> %	<b>As</b> ppm	<b>Bi</b> ppm	<b>Cd</b> ppm	<b>Co</b> ppm
<b>Cabeza</b>	>200.0	0,78	6029	232	220	132
<b>Residuo</b>	>200.0	0,74	7165	204	31	38
<b>Elemento</b>	<b>Cu</b> ppm	<b>Fe</b> %	<b>Hg</b> ppm	<b>La</b> ppm	<b>Mg</b> %	<b>Mn</b> ppm
<b>Cabeza</b>	>10000	>15.00	-1	13	0,39	580
<b>Residuo</b>	7585	>15.00	-1	18	0,08	90
<b>Elemento</b>	<b>Mo</b> ppm	<b>Na</b> ppm	<b>P</b> ppm	<b>Pb</b> %	<b>Sb</b> %	<b>Se</b> ppm
<b>Cabeza</b>	220	132	>10000	>15.00	-0,01	13
<b>Residuo</b>	31	38	7585	>15.00	-0,01	18
<b>Elemento</b>	<b>Sn</b> %	<b>Sr</b> ppm	<b>Tl</b> ppm	<b>V</b> ppm	<b>W</b> ppm	<b>Zn</b> %
<b>Cabeza</b>	0,39	580	42	136	3035	>15.00
<b>Residuo</b>	0,08	90	25	141	4404	1,11

El contenido de elementos en el drenaje de proceso, que comúnmente se conoce como solución rica, o solución descarte, dependiendo de la etapa, toma importancia teniendo en cuenta la implicancia o el impacto al medio ambiente. En el presente estudio, el contenido de elementos en la solución rica se determino por diferencia simple a partir del mineral de cabeza y el residuo sólido, obteniéndose la siguiente composición o contenido.

**Tabla N° 4 Contenido de elementos en la solución de lixiviación.**

<b>Elemento</b>	<b>Cu</b> ppm	<b>Fe</b> %	<b>Cd</b> ppm	<b>Co</b> ppm	<b>Mg</b> %	<b>Mn</b> ppm
<b>Cabeza</b>	>10000	>15.00	220	132	0,39	580
<b>Residuo</b>	7585	>15.00	31	38	0,08	90
<b>Sol. Rica</b>	4580		189	124	0,31	490
<b>Elemento</b>	<b>Mo</b> ppm	<b>Na</b> ppm	<b>P</b> ppm	<b>Zn</b> %	<b>Sn</b> %	<b>Sr</b> ppm
<b>Cabeza</b>	220	132	>10000	>15.00	0,39	580
<b>Residuo</b>	31	38	7585	1,11	0,08	90
<b>Sol. rica</b>	189	128	2253	4302	0,32	420

## **ANALISIS Y DISCUSION**

Las menas oxidadas son muy solubles en  $H_2SO_4$  diluido. La tasa de disolución depende del tipo de lixiviación y de las condiciones de contacto con la mena. Los factores que la favorecen son la tasa de concentración del  $H_2SO_4$ , como también: temperaturas de solución altas ( $60\text{ }^\circ\text{C}$ ), mayores superficies de contacto (granulometría) y en lo posible una buena agitación.

Los sulfuros son poco solubles en  $H_2SO_4$  a menos que la condición de oxidación sea fuertemente provista (presión de oxígeno permite que el cobre lo capte y se solubilice). Las reacciones son controladas por factores externos como la temperatura y/o la adición de reactivos fuertemente oxidantes.

La concentración metálica y el análisis de viabilidad determinara si los materiales (minerales valiosos) son sometidos al tratamiento pirometalúrgico secuencial a fin de obtener un producto con ventaja comercial.

## **CONCLUSIONES**

- Las respuestas obtenidas de las especies estudiadas permite afirmar que se pueden caracterizar en base a su identificación fisicoquímica, buena disponibilidad y facilidad de aplicación con tratamientos previos como la reducción térmica.
- En este estudio se pudo constatar que las técnicas de caracterización requiere la disposición de instrumentos, materiales, infraestructura y una adecuada gestión institucional.
- Los resultados alcanzados en este estudio sugieren que es factible implementar la separación secuencial de elementos y especies que se consideran perjudiciales y denotan contaminación del medio ambiente.
- Los sistemas de caracterización electroquímica permiten obtener resultados de niveles de confianza en función a los equipos empleados, dentro de ello podemos citar los equipos instrumentales de identificación cuantitativa y cualitativa.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1. Butler, J. N. Equilibrium - a Mathematical Approach, Addison Wesley Publishing, 1988
2. D. Lovera Davila, at el. Planta Piloto de procesos secuenciales en la Remediación de Efluentes industriales. Rev. Inst. invest. FIGMMG, UNMSM, vol. 3 Nro. 6, 1999
3. Habashi Fathi. Principles of Extractive Metalurgy Vol. 3 1979
4. M. Sanches. Fundamentos Fisicoquimicos de los Sistemas Metalúrgicos, Universidad de Concepción, Chile 1991
5. Marcel Pourbaix. (1997) Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions. Houston, Texas, USA. CEBELCOR
6. V. Arias A. y Edgar Paez M. Determinación Espectrofotométrica de las Constantes de Equilibrio en la Disolución del Oro. X Congreso Colombiano de Química, Medellín, 1994