


<small>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE CHILE INSTITUTO PROFESIONAL CENTRO DE FORMACIÓN TÉCNICA</small>  <p>Área Minería y Metalurgia</p>	<div style="border: 1px solid gray; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;"> Guía de Laboratorio </div>	<p>Número: 01</p>
<p>Lixiviación en Columnas y Precipitación</p>	<p>Carrera: Ingeniería en Metalurgia.</p>	<p>Asignatura: Hidrometalurgia</p>

LABORATORIO DE HIDROMETALURGIA

EXPERIENCIAS

Lixiviación en Columnas y Precipitación

Integrantes:

Profesor: _____

Puntaje Obtenido	Puntaje Ideal	NOTA FINAL

1. OBJETIVOS

- Realizar a escala de laboratorio un proceso de lixiviación en columnas.
- Construir un balance de masas en el proceso de lixiviación
- Obtención de cemento de Cu a partir de las soluciones de lixiviación
- Obtención de sulfato de Cu cristalizado

2. ANTECEDENTES GENERALES DEL LABORATORIO

2.1. Hidrometalurgia

La hidrometalurgia es la rama de la Metalurgia Extractiva que estudia todos los procesos extractivos que ocurren en medios acuosos, que permiten la extracción y obtención de metales y/o compuestos desde sus minerales o materiales de reciclaje (chatarras, escorias, cementos metálicos, barras anódicas, etc).

La hidrometalurgia se desarrolla en general en tres etapas sucesivas:

- La primera etapa es conocida como “lixiviación” y consta de la disolución selectiva de los metales en una solución acuosa, des- de los minerales que los contienen.
- En la segunda etapa se realiza el procesamiento y transformación de los metales disueltos en el medio acuoso producido en la etapa anterior, mediante agentes externos que permiten la “purificación y/o concentración” de los metales que se busca producir.
- En la tercera etapa se recuperan selectivamente las especies metálicas disueltas en el medio acuoso generado. Esta etapa es conocida como “precipitación”, la cual genera como producto final el metal, ya sea en forma pura o como parte de un compuesto que lo contiene.

En general en hidrometalurgia se llevan a cabo reacciones del tipo sólido-líquido, salvo en el caso de la extracción por solventes, donde se produce un intercambio líquido-líquido, pero con líquidos inmiscibles. Existen también algunos casos en que las reacciones se producen entre gas y líquido. Se trata en consecuencia siempre de reacciones heterogéneas.

En líneas generales las principales ventajas de los procesos hidrometalúrgicos son:

- Sus procesos tienen un menor impacto ambiental
- Bajos costos de inversión para un tamaño de planta dado
- Posibilidad de expansión desde una operación pequeña a otra de tamaño mediano
- Algunos procesos hidrometalúrgicos permiten un ahorro considerable de combustible
- Existe un gran control sobre las reacciones químicas
- Es posible una gran automatización.

2.1.1. La Lixiviación

La Lixiviación es la operación unitaria fundamental de la hidrometalurgia y su objetivo es disolver en forma parcial o total un sólido con el fin de recuperar algunas especies metálicas contenidas en él. Los métodos de lixiviación corresponden a la forma en que se contactan las soluciones lixiviantes con las menas con contenidos metálicos de interés. Los métodos más conocidos son:

- 1.- Lixiviación In Situ, lixiviación en botaderos (dump leaching). 2.-
- 2.- Lixiviación en pilas (heap leaching).
- 3.- Lixiviación por percolación o en Bateas (vat leaching)
- 4.- Lixiviación por agitación
- 5.- Lixiviación a presión.

Aunque estos tipos de lixiviación se pueden aplicar en forma muy eficiente a la mayoría de los metales que están contenidos en menas apropiadas para este proceso, tales como cobre (minerales sulfurados y oxidados), oro (nativo), plata (nativa), aluminio (óxidos), zinc (óxidos y sulfuros), níquel (sulfuros y óxidos) y las formas minerales de los metales cobalto, zirconio, hafnio, etc; en esta oportunidad se hará referencia solamente a la técnica de Lixiviación en Pilas como la más usada actualmente.

La lixiviación en pilas es similar a la operación que se lleva a cabo con los botaderos, a diferencia de que en este caso el mineral tiene una ley más alta y, por ello, económicamente paga mejor su procesamiento, incorporando una planta de chancado

previa, con etapas de chancado primario, secundario y terciario. En este caso al construir las pilas con mineral chancado se hace necesario aglomerar los finos generados, de forma de restituir la permeabilidad al lecho de mineral a una similar a la que tiene el mineral sin chancar que se usa en los botaderos.

La secuencia combinada de lixiviación de mineral chancado, aglomerado con agua y curado con ácido concentrado se conoce como Proceso de Lixiviación TL y su uso está generalizado para minerales de cobre tanto oxidados como sulfurados. Para el tratamiento de los minerales de oro también se usa este tipo de pilas de lixiviación con aglomeración, carguío, impermeabilización de la base y regadío, pero agregando una etapa previa de acondicionamiento y aglomeración con agua, cal y cemento de forma de lograr acondicionar a pH alcalino el lecho de la pila, dando así una buena rigidez a los finos aglomerados. El resto de los sistemas tanto de riego como de recolección de soluciones son similares al caso de la lixiviación con ácido.

Procedimiento básico de la lixiviación de cobre oxidado.

Es un proceso hidrometalúrgico típico que permite obtener cobre de los minerales oxidados que lo contienen, aplicando una disolución de ácido sulfúrico y agua. Se realiza en tres etapas:

Chancado: El material extraído de la mina se fragmenta con el objetivo de reducir el tamaño para que los materiales oxidados puedan ser sometidos a la infiltración de una solución ácida.

Aglomeración: La aglomeración más usada se realiza en tambores donde se irriga el mineral con agua y ácido sulfúrico, preparándolo para su posterior lixiviación, aunque en algunos casos la irrigación se realiza en correas transportadoras.

Formación de la pila: Cuando el mineral aglomerado llega al lugar donde se realizará la lixiviación, se deposita en pilas de 6 a 8 metros de altura, sobre el que se ubica un sistema de riego por goteo.

Sistema de riego: La solución que se vierte es una mezcla de agua con ácido sulfúrico, que disuelve el cobre contenido en los minerales oxidados, formando una solución de sulfato de cobre, que es recogida por un sistema de drenaje ubicado en la parte inferior y llevada

fuera de estas pilas de lixiviación. Este riego dura entre 45 a 60 días. Así se obtienen soluciones de sulfato de cobre, CuSO_4 , con concentraciones de hasta 9 gramos por litro denominadas PLS, que son llevadas a diversos estanques donde se limpian, eliminándose las partículas sólidas que pudieran haber sido arrastradas. Estas soluciones de sulfato de cobre limpias son llevadas a una planta de extracción por solvente.

2.1.2. Concentración y Purificación

Esta técnica se emplea en metalurgia con tres fines fundamentales: concentrar, purificar y separar los elementos o metales disueltos. Normalmente estas funciones son inseparables para el predominio que una ejerce sobre la otra, hace que la extracción con solventes tenga una función específica que se intercala en distinto lugar del diagrama de flujo de un proceso metalúrgico. Por ejemplo, cuando predomina la acción de concentrar, su aplicación está íntimamente ligada con la recuperación de cationes de menas pobres en minerales de interés. Con fines de purificación se emplea en aquellos casos en que el precio y la utilización de un metal crecen significativamente con la pureza; la aplicación más inmediata está relacionada con los materiales nucleares, aunque en éstos también se usa con fines de concentración. Con fines de separación puede ser rentable el uso de esta técnica, en la separación de elementos de ciertas menas en que de todos los elementos presentes solo algunos son valiosos. Un ejemplo de esta aplicación es la separación por extracción con solventes de Uranio, Molibdeno y Vanadio. Los procesos de extracción por solventes se llevan a cabo con dos soluciones inmiscible entre sí, la fase acuosa y la fase orgánica. La fase acuosa es una solución proveniente de lixiviación, concentrada en cobre y con un alto nivel de impurezas, que imposibilita su tratamiento de precipitación de cobre, sin antes remover las impurezas presentes o separar el cobre de esta solución y de alguna manera, traspasarlo a otra solución acuosa libre de impurezas; que es lo que se realiza en extracción por solventes. La fase orgánica es una solución en la cual generalmente se tienen los siguientes componentes, Extractante y Diluyente:

- **Extractante** (también llamado reactivo orgánico o simplemente orgánico), es un compuesto que contiene un grupo funcional que es capaz de reaccionar químicamente con una especie particular en la fase acuosa.
- **Diluyente**, es el material orgánico que se usa para diluir el extractante. Originalmente se consideraba inerte, pero últimamente se ha reconocido que tiene importante influencia en el proceso general de extracción, mejorando la velocidad de separación de fases.

2.1.3. Precipitación

La precipitación por reducción electrolítica, comúnmente conocida como electroobtención o electrodeposición, es uno de los procedimientos actuales más sencillos para recuperar en forma pura y selectiva los metales que se encuentren en solución. La electroobtención es particularmente interesante en el proceso de producción de cobre, ya que prácticamente todo el cobre de uso industrial a nivel mundial requiere del grado de pureza establecido por los estándares del cobre electrolítico. Básicamente, este proceso consiste en recuperar el metal desde una solución de lixiviación debidamente acondicionada (solución electrolito) para depositarlo en un cátodo, utilizando un proceso de electrólisis.

Tipos de celdas electrolíticas

Industrialmente, hay una gran variedad de celdas electrolíticas, la fabricación y selección de ellas dependen de factores tales como:

- Tipo de electrolito, si es acuoso o de sales fundidas.
- Tipo de cátodo, si es líquido o sólido, o bien, si es compacto, esponjoso o particulado.
- Tipo de proceso, si es electroobtención (EW) o electrorrefinación (ER).

Dentro de la variedad de celdas podemos encontrar las siguientes:

Celda convencional para electrólisis en medio acuoso: El diseño de celdas electrolíticas para medios acuosos varía muy poco, ya que en general se trata de ánodos y cátodos suspendidos verticalmente, frente a frente unos de otros. Las diferencias tienen que ver con el uso final, según se trate de electroobtención (EW) o de electrorrefinación (ER), ya que en el proceso de EW es más importante renovar y agitar el electrolito frente a las placas, para renovar el metal a depositar.

- Diferencias y similitudes entre celdas de EW y ER

En la EW es necesaria la permanente renovación y agitación del electrolito frente a las placas, ya que con la nueva solución cada vez se renueva el metal para la depositación. En cambio en la electrorrefinación el metal se renueva y recorre sólo el espacio entre placa y placa, por lo que la agitación requerida en el baño es bastante menor, basta con movimiento convectivo y de agitación suave en la renovación normal del electrolito.

En el caso de la EW de cobre, cerca del fondo de las celdas electrolíticas existe un anillo de distribución de soluciones, que consiste en una cañería perimetral con una perforación frente a cada espacio interplaca ánodo-cátodo. En ambos casos debe cuidarse de reservar un cierto espacio en el fondo de la celda para la acumulación y evacuación de los residuos de ánodos en el caso del EW, y de barras anódicas, en la ER. En ambos casos se debe cuidar el ingreso y distribución del electrolito en las celdas para evitar la contaminación de los cátodos con la remoción accidental de las impurezas acumuladas en el fondo de la celda.

Eficiencia y densidad de corriente

El concepto de eficiencia de corriente corresponde a la relación que se establece entre el metal efectivamente depositado y el que debiera depositarse, de acuerdo con la cantidad de corriente eléctrica aplicada. A diferencia de lo que ocurre en EW, en la práctica industrial de la ER, las eficiencias de corriente efectivas pueden ser muy altas entre 95% y 98%, ya que se trata de un proceso con muy pocas reacciones secundarias que puedan hacer mal uso de dicha energía. En cambio, en la EW las variables aumentan, hay muchas reacciones posibles tanto catódicas como anódicas, potencialmente competitivas a la reacción principal, de modo que la eficiencia de la corriente inferior a la ER es explicable por varias razones.

Diseño y materiales de ánodos

Ánodos de EW: En el proceso de EW los ánodos son teóricamente insolubles e inertes al proceso. Cuando la electrólisis es en medio acuoso, predomina el uso de ánodos de plomo, en alguna de sus aleaciones donde tenga mejores características físicas y químicas que las del plomo puro, en especial en relación a la estabilidad mecánica, rigidez, dureza y resistencia química a la corrosión.

Ánodos de electrorrefinación: En el proceso de ER los ánodos son solubles y pueden ser moldeados individualmente, en una rueda de moldeo. El giro de la rueda permite pasar sucesivamente por varias etapas:

- Llenado y pesado del molde con el metal líquido fundido.
- Enfriado con rociado de agua.
- Levantamiento y retiro del ánodo.
- Limpieza y preparación del molde para un nuevo llenado.

Los ánodos, principalmente en la ER de níquel y cobre, tienen una superficie irregular y rugosa, con dimensiones de 80 a 100 cm de ancho, de 90 a 110 cm de largo y de 3 a 6 cm de espesor.

Diseño y materiales de cátodos

En la EW de cobre, originalmente se usaban placas madre de titanio o de cobre recubierto con un aceite conductor, para facilitar el despegue del depósito, pero actualmente se utilizan placas de acero inoxidable.

Hoy se usa acero inoxidable 316L para estos cátodos. Sus dimensiones sumergidas, útiles para la depositación, se han estandarizado en 1 m de ancho por 1 m de alto. Esta tecnología es conocida como Proceso "ISA", ya que fue inicialmente desarrollado en Australia por Mount Isa. Se caracterizaba por usar cera en el borde inferior del cátodo, para controlar el depósito inferior.



3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1. Equipos y materiales

- Chancador de Mandíbula
- Chancador de Cono
- Reactivos, Ácido Sulfúrico y Ácido Nítrico, concentrados. Agua destilada
- Ro –Tap
- Peachimetro
- Set de tamices
- Columnas de Lixiviación
- Carpeta de filtrado
- Cu metálico en viruta o láminas
- Viruta de Fierro (1 kg)
- Vasos precipitado de 1000 cc
- Mechero Bunster
- Probetas de 1000 cc
- Brochas
- Espátulas
- Cuartedor de riffles
- Recipientes
- Balanza digital
- Balanza analítica
- Mineral oxidado (10 kgs)
- Bandejas metalúrgicas
- Bolsas para muestras
- Útiles de aseo (escoba, pala, bolsas de basura, depósito para disposición final del material)
- E.P.P. por participante (delantal/cotona o buzo, zapatos de seguridad, guantes de cabritilla, antiparras, tapones auditivos)

3.2 Procedimiento de Laboratorio

3.2.1. Lixiviación en Columnas

1. Tomar los 10 kgs de mineral oxidado y proceder a reducir de tamaño hasta obtener un tamaño 100 % bajo $\frac{1}{2}$ ".
2. Preparar carpeta de filtrado para utilizarla en la columna de lixiviación.
3. El peso del mineral a lixiviar va a depender del tamaño de la columna (aproximadamente entre 5 a 10 kg).

4. Preparar una solución de agua acidulada con concentración de 50 gpl (el uso de esta concentración es para disminuir el tiempo de lixiviación). Rotular el depósito de agua acidulada con el contenido y fecha.
5. Con una parte del mineral (2 kg) proceder a introducirlo en la columna y probar con agua la porosidad de la carpeta de filtrado, observar que el agua escurra en forma de gotas, esto indica que se tiene una buena carpeta de filtrado.
6. Una vez comprobado el paso anterior proceder a cargar el resto del mineral y adicionar el agua acidulad, aproximadamente 5 lts para 10 kgs de mineral.
7. Medir el volumen de solución obtenida en la primera recirculación y completar con agua acidulada hasta el volumen inicial.
8. Iniciar el proceso de recirculación por espacio de 6 días.
9. Controlar el proceso de lixiviación y sacar diariamente una muestra de solución para su análisis químico de Cu y H⁺. Registrar los datos en tabla anexa.
10. Construir curvas de Cu y H⁺ v/s el tiempo.
11. Medir y guardar solución obtenida en la lixiviación para experiencias de precipitación y cristalización

3.2.2. Precipitación con Viruta de Fierro

1. Con 1 lt de PLS obtenido en la lixiviación adicionarlo a un vaso precipitado y luego introducir la viruta de fierro(500 grs), luego agitar la solución en forma manual con una varilla de vidrio.
2. Al observar el cambio de coloración en la solución dejar de agitar y que decante en el precipitado en forma natural.
3. Retirar la viruta de fierro sobrante (con pinza) y se debe lavar con agua para remover el resto del precipitado, la viruta se debe secar y pesar.
4. La solución con cemento de Cu proceder a filtrarla y secar el cemento de Cu para registrar su peso.
5. La solución filtrada se debe medir y sacar una muestra para determinar la concentración de Cu.

6. Con las concentraciones inicial y final en el proceso de precipitación y el peso del cemento proceder al cálculo de la ley de este.

3.2.3. Crítalización

1. Pesar aproximadamente 1 gr de viruta o lámina de Cu
2. En un vaso precipitado adicionar 5 ml de ácido nítrico concentrado
3. Depositar la viruta de Cu pesada anteriormente en el vaso precipitado, bajo una campana extractora de gases para evitar la inhalación de gases nitrosos
4. Asegurarse de la disolución completa del Cu bajo la campana extractora
5. Adicionar 1 ml de ácido sulfúrico y 20 ml de agua destilada
6. Dejar vaso precipitado en lugar seguro para la evaporación de los gases y la precipitación del sulfato de Cu.
7. Dejar secar el sulfato de Cu y pesar, determinar la cantidad de sulfato que se produce.

4. CALCULOS

4.1. Tabla de registro datos de lixiviación

Día	Vol Solución (lts)	gpl de Cu	gpl de H ⁺	Grs de Cu extraído	Grs de H ⁺
Inicio	5	----	50	----	250
1					
2					
3					
4					
5					
6					

4.2. Tabla de Registro de datos de Precipitación

Período	Volumen de solución (cc)	Gpl de Cu	Viruta de Fe (grs)	Peso Cemento Cu
Inicio				
Final				

5. RESULTADOS

- Expresar los resultados de la lixiviación en base a recuperación y consumo de ácido
- Realizar curvas de concentración v/s el tiempo para el Cu y ácido en la lixiviación.
- Determinar la producción de Cu a partir del Cemento y el consumo de Fe.
- Determinar la producción de Sulfato de Cu.

6. CONCLUSIONES

7. ANEXOS