

# EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA RECUPERACION DE COBRE DESDE AGUAS DE DRENAJE DE MINAS Y DISMINUCIÓN DE SU IMPACTO AMBIENTAL EN AGUAS DE USO FLUVIAL

FERNANDO PARADA<sup>1</sup>, FROILAN VERGARA<sup>1</sup>, MARIO SANCHEZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Civil en Metalurgia, Universidad Andrés Bello, Talcahuano, Chile

## RESUMEN

Se presenta el estudio experimental realizado a escala de laboratorio, mediante técnicas de extracción por solventes (SX) e intercambio iónico (IX), para recuperar cobre desde aguas ácidas de mina. Para el desarrollo de las pruebas se utilizó una mini planta continua de SX con mezclador de 7 litros de capacidad y una planta de IX con 4 columnas de 2.2 cm de diámetro que permitía operar con el equivalente a una columna de hasta 1.8 m de altura de lecho de resina. Los resultados muestran que ambos procesos son capaces de tratar agua de mina y entregar un producto adecuado para la electroobtención, además de una solución pobre en cobre que puede descargarse directamente a aguas fluviales, previa neutralización. Se entregan además los principales parámetros para sustentar el dimensionamiento de una planta industrial, para una posterior evaluación económica.

**PALABRAS CLAVES:** cobre, agua ácida de mina, extracción por solvente, intercambio iónico

## 1. INTRODUCCIÓN

La generación de aguas de drenaje de mina es un problema que representa un riesgo de contaminación debido al contenido de metales pesado y acidez propia de esta agua<sup>[1]</sup>. En Chile las regiones de la zona central y sur del país son las más vulnerables a este tipo de contaminación debido a que las faenas mineras se encuentran principalmente en la zona cordillerana que es de donde provienen las aguas que dan origen a los principales cuerpos fluviales. Al respecto la norma chilena establece límites estrictos para los elementos contaminantes dentro de los cuales se encuentran el Cu y el Fe que son de interés para este trabajo (Tabla 1).

**Tabla 1:** Límite máximo de Cu y Fe permitido para la descarga de residuos líquidos a cuerpos fluviales en Chile<sup>[2]</sup>

Elemento	Unidad	Límite máx. permitido
Cobre	mg/L	1
Hierro	mg/L	5
pH	pH	6 - 8.5

La zona central de Chile es la con mayor actividad agrícola del país que debe convivir con una importante actividad minera como son 3 de los principales yacimientos de cobre del país: Divisiones Andina y El Teniente de Codelco Chile y la mina Los Bronces de Anglo American. Entre las tres procesan más de 250 mil t/día de mineral y remueven una cantidad aún mayor de material de baja ley que es depositado como estéril. Todo esto genera la exposición al aire de una gran superficie de rocas que contienen sulfuros favoreciendo la generación de agua ácida producto del proceso de oxidación que a su vez se acelera con la presencia en forma natural de bacterias.

En la práctica el agua de drenaje se recolecta y se trata para evitar el riesgo de contaminación. Los métodos utilizados en estas plantas es la neutralización con lechada de cal, y el tratamiento del agua de mina mediante los procesos de extracción por solvente – electroobtención como en la mina El Teniente Y Los Bronces.

Debido a los contenidos de cobre en el agua de mina resulta atractivo pensar en aplicar un proceso

como en la mina El Teniente de Codelco Chile, con la ventaja de que el cobre ya se encuentra en solución y se evitan los etapas de extracción del mineral, de reducción de tamaño y de lixiviación. Sin embargo, uno de los principales inconvenientes es que la generación del agua de mina no es controlada y fluctúa de valores muy pequeños en el

período de invierno a valores extremos en el período de deshielo. Esta es la principal dificultad para definir las condiciones de diseño de una planta para tratar el agua de mina. En la Figura 1 se muestra el promedio de la variación del flujo de agua de mina y concentración de cobre para el período de un año de la mina El Teniente.

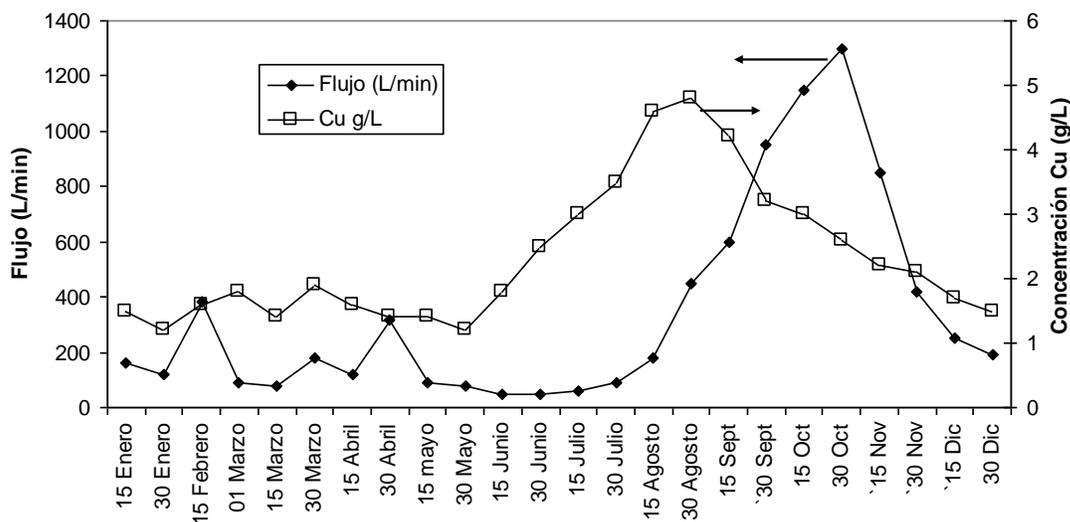


Figura 1. Variación del flujo promedio de agua de mina y de la concentración de cobre durante un año<sup>[3]</sup>.

## 2. ESTUDIO EXPERIMENTAL

En la Tabla 2 se muestra el rango de composición química del agua de mina utilizada en el estudio experimental.

Tabla 2: Composición química del agua de mina

Elemento	Unidad	Cantidad
Cu	mg/L	850 a 5000
Fe	mg/L	50 a 500
Al	mg/L	50 a 500
Ca	mg/L	200 a 400
pH	pH	2.5 a 3.0

### 2.1 Pruebas de SX

El estudio experimental se desarrolló en una planta continua de extracción por solvente que constaba de 4 unidades mezcladoras-sedimentadoras, agitadores – impulsores, flujómetros, bombas, etc.

El mezclador tenía 7.3 litros mientras que el sedimentador era de 19x45 cm. Cada unidad mezcladora-sedimentadora permitía el control de la altura de la fase orgánica, recirculación de los flujos acuoso u orgánico y un área variable de la zona de sedimentación,

En las pruebas se consideró un circuito de SX que constaba de 2 etapas de extracción y 2 de re-extracción. El sistema operó en forma continua con agua de mina tomada de la cañería transporte.

Las principales variables fueron el flujo de agua de mina o tiempo de residencia en el mezclador y la concentración de cobre en el agua de mina. Los resultados obtenidos con estas variables se utilizarán para evaluar el comportamiento que tendría una planta de SX de una determinada capacidad bajo condiciones de flujo y concentración de cobre variables, como ocurre con la generación de agua de mina durante el año

### 2.2 Pruebas de IX

Para las pruebas de IX se utilizó un sistema de columnas de laboratorio que constaba de 4 columnas de vidrio de 2.2 cm de diámetro y 60 cm de largo y una bomba peristáltica. Las columnas se conectaban en serie lo que permitía simular una columna de altura total de 1.8 metros de lecho de resina.

Un sistema de IX en columna es un sistema batch en el cual la columna está sometida a ciclos de carga y descarga con etapas de lavado intermedio del lecho de resina. Las etapas de lavado tienen como finalidad evitar que residuos de un tipo de solución contaminen la etapa siguiente. Las variables consideradas fueron las mismas que para SX y con el mismo objetivo, es decir, poder evaluar el comportamiento de una planta de IX bajo condiciones variables de flujo y concentración de cobre.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Pruebas de SX

En una primera etapa se definieron las condiciones bases para la operación de la planta, basado en los datos históricos de generación de agua de mina. Las condiciones de diseño y bajo las cuales se realizó este estudio son:

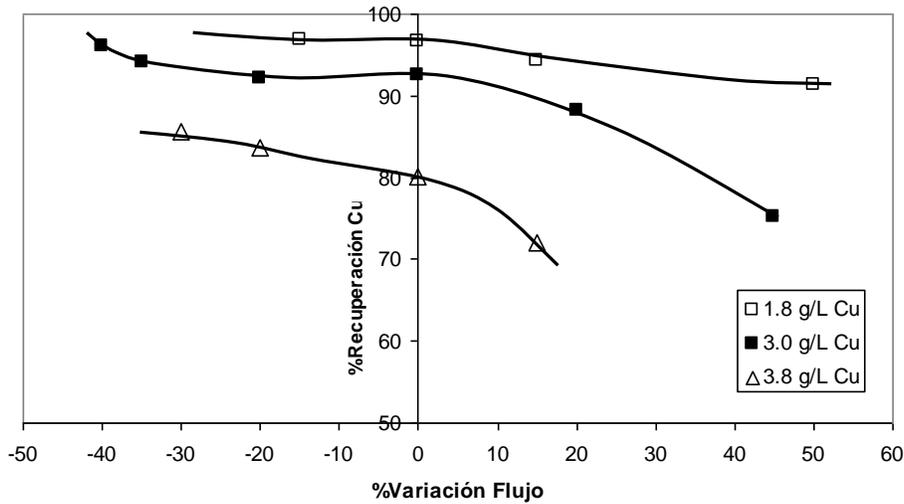
- Concentración de Cu en agua de mina: 3.0 g/L
- Tiempo de residencia en mezclador: 3 min
- Temperatura agua de mina: 12°C

- Extractante: acorta PT5050
- Concentración extractante: 9.5% en vol.
- Diluyente: Escaid 100
- N° etapas de extracción: 2
- N° etapas de re-extracción: 2
- Conc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en re-extr.: 180 g/L

En base a estas condiciones se evaluó el efecto de las siguientes variables:

- Variación del flujo de agua de mina: -40% a +50% c/r al flujo para obtener un tiempo de residencia de 3 min en el mezclador
- Cu en agua de mina (g/L): 1.8, 3.0 y 3.8 g/L

Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 2. Se puede observar que para la condición de diseño (%variación de flujo = 0 y Cu: 3 g/L) se obtiene una extracción de cobre de 93%, la cual disminuye a 88% si el flujo aumenta en un 20% con respecto al de diseño y cae a un 76% si el flujo aumenta en 45%. Se ve además, que al disminuir el flujo en un 40%, la extracción de cobre sube a un 96%. Por otro lado si la concentración de cobre aumenta a 3.8 g/L de Cu, la extracción cae a 80% cuando se mantiene el flujo en la condición de diseño, y cuando la concentración de cobre disminuye a 1.8 g/L, la extracción aumenta a 96%, bajo la condición del flujo de diseño. De este modo, los resultados de la Figura 2 se pueden utilizar para predecir la extracción de cobre en SX cuando cambian las condiciones del flujo de agua de mina con respecto a las de diseño.

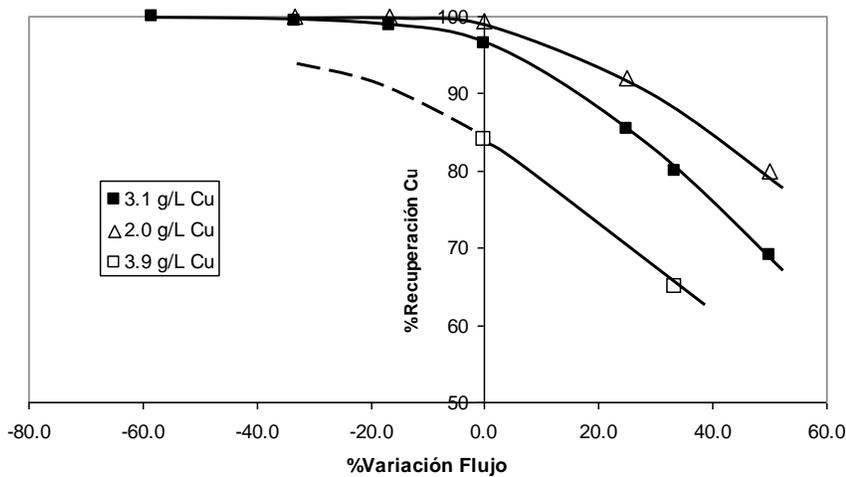


**Figura 2:** Efecto de la variación del flujo y concentración de cobre del agua de mina en la recuperación del Cu mediante SX

### 3.2 Pruebas IX

En estas pruebas se utilizaron las 4 columnas conectadas en serie dando una altura total de 180 cm, lo cual corresponde a una altura de una columna normal de IX comercial. Se evaluaron las mismas variables que en SX con una concentración de 3.1 g/L de Cu para la condición de diseño, obteniéndose una extracción de cobre de 96% como se puede observar en la Figura 3. En esta figura se puede observar el mismo efecto descrito para SX, por ejemplo, al aumentar el flujo en un 20% con respecto al de diseño, la extracción de

cobre cae a un 86%, mientras que al disminuir el flujo en un 20%, la extracción aumenta a un 98%. En general los resultados de IX muestran un comportamiento bastante similar a los de SX cuando aumenta el flujo y la concentración de cobre con respecto a la de diseño, mientras que se observa un efecto más favorable en IX que en SX, para las condiciones de flujo que están por debajo de la de diseño.



**Figura 3:** Efecto de la variación del flujo y concentración de cobre del agua de mina en la recuperación del Cu mediante IX

## 4 PROYECCION INDUSTRIAL

En base a los resultados experimentales se determinó el rendimiento que tendrían una planta de SX y una de IX durante un año de operación basado en una condición base de diseño. Para la condición de diseño se escogió un flujo de agua de mina equivalente a aproximadamente un 80% del flujo máximo de agua de mina en el año y una concentración de cobre promedio. Las condiciones base de diseño son:

- Flujo de agua de mina a tratar: 800 L/min

- Concentración de Cu en agua de mina: 3.0 g/L

Luego, de acuerdo a los datos de flujo y concentración de cobre en el agua de mina de la Figura 1 y otros datos de años anteriores, se determinó la cantidad de cobre recuperable durante un año de operación para las dos alternativas: SX e IX. El producto de estos dos procesos es una solución concentrada y pura en cobre que se envía a la etapa de electro-obtención de cobre (EW).

### 4.1 Alternativa 1: SX

**Tabla 2:** Estimación del Cu recuperado en 1 año desde el agua de mina mediante SX

Período	Flujo (L/min)	%Variación Flujo	Cu (g/L)	Nº días	%Rec Cu estimado	Cu recuperado (ton)
1 1 - 20 agosto	150	-81,3	4,0	20	85	14,7
2 21 ago - 19 sept	390	-51,3	3,6	30	88	53,4
3 20 sept - 9 oct	800	0,0	3,2	20	92	67,8
4 10 oct - 29 oct	1025	28,1	2,85	20	87	73,2
5 30 oct - 23 nov	550	-31,3	2,29	25	97	44,0
6 24 nov 18 dic	290	-63,8	1,89	25	99	19,5
7 19 dic - 28 feb	170	-78,8	1,55	72	99	27,0
8 1 mar - 15 may	120	-85,0	1,4	76	99	18,2
9 16 may - 31 Julio	80	-90,0	2,5	77	99	22,0
<b>Total</b>						<b>339,8</b>

**Tabla 3:** del Cu recuperado en 1 año desde el agua de mina mediante IX

Período	Flujo (L/min)	%Variación Flujo	Cu (g/L)	Nº días	%Rec Cu estimado	Cu recuperado (ton)
1 1 - 20 agosto	150	-81,3	4,0	20	90	15,6
2 21 ago - 19 sept	390	-51,3	3,6	30	95	57,6
3 20 sept - 9 oct	800	0,0	3,2	20	95	70,0
4 10 oct - 29 oct	1025	28,1	2,85	20	85	71,5
5 30 oct - 23 nov	550	-31,3	2,29	25	93	42,2
6 24 nov 18 dic	290	-63,8	1,89	25	99	19,5
7 19 dic - 28 feb	170	-78,8	1,55	72	99	27,0
8 1 mar - 15 may	120	-85,0	1,4	76	99	18,2
9 16 may - 31 Julio	80	-90,0	2,5	77	99	22,0
<b>Total</b>						<b>343,6</b>

Para el análisis un año se dividió en 9 períodos para cada uno de los cuales se determinó un flujo de agua de mina promedio. Este flujo promedio se comparó con el de diseño y de acuerdo a los resultados de la Figura 2 se calculó la cantidad de cobre recuperado. En la Tabla 2 se muestran estos resultados.

### 4.2 Alternativa 2: IX

Mediante el mismo procedimiento aplicado a SX, pero considerando los resultados de la Figura 3, se calculó el cobre recuperable mediante el proceso de IX. En la Tabla 3 se muestra este resultado.

De los resultados de las tablas 2 y 3, se puede ver que con la alternativa de IX se obtiene aproximadamente un 1% más de recuperación de cobre que mediante SX.

## 7 CONCLUSIONES

Ambas Alternativas evaluadas son técnicamente factibles para recuperar el cobre contenido en el agua de drenaje de mina y entregar un producto adecuado para la electroobtención, además de una solución pobre en cobre que puede descargarse directamente a aguas fluviales, previa neutralización

La alternativa de intercambio iónico con resinas sólidas tiene la ventaja que no se utilizan reactivos inflamables y no existen los problemas de separación de fases que se presentan en SX, sin embargo, tiene la desventaja de ser un proceso discontinuo o semi-

continuo y no existe una oferta variada de proveedores de reactivos para cobre como en SX.

Debido a que la generación de agua de mina es muy variable, la capacidad de tratamiento queda sobredimensionada la mayor parte del año con niveles de producción inferiores al 30% de la capacidad nominal de diseño.

La construcción de una planta destinada en forma exclusiva al tratamiento de agua de mina se dificulta por las características de la generación de agua de mina. Este problema se podría ver disminuido al considerar un proyecto paralelo de lixiviación de mineral de baja ley por ejemplo.

## REFERENCIAS

- [1] KONTOPULOS, A. Acid Mine Drainage Control, in Effluent Treatment in the Mining Industry. Universidad de Concepción, 1998 (S.Castro, F.Vergara, M.Sánchez, Eds.), pp 57-118.
- [2] Decreto Supremo N°90/00, Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Promulgado el 30/05/2000.
- [3] ARAVENA A., P. Factibilidad Técnica de Abatimiento de Sulfatos en Aguas de Drenaje de Minas, Div. El Teniente de CODELCO Chile. Memoria de Título, Universidad de Concepción, Sept. 2009, Concepción, Chile.