

# PRECIPITACIÓN QUÍMICA Y ADSORCIÓN EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES CONTENIENDO METALES DISUELTOS

Luis Puente Santibáñez \*

## RESUMEN

Efluentes industriales conteniendo metales disueltos deben ser tratados para su disposición al ambiente a fin de cumplir con los niveles permitidos por la autoridad ambiental.

Estos efluentes se generan debido a la actividad minero-metalúrgica y a los procesos de drenaje ácido.

En el caso de empresas de la pequeña minería el objetivo de abatir la concentración de metales disueltos en sus efluentes resulta difícil lograr conforme a estándares ambientales debido principalmente a limitaciones financieras.

El presente estudio enfoca el tema planteando el método de la precipitación química y luego un proceso de adsorción mediante resinas de intercambio iónico, lo que permitirá obtener el efluente libre de metales disueltos. Se analizan las ventajas y factores que intervienen en el proceso en base a pruebas de laboratorio para escalamiento a procesos de flujo en trabajos futuros.

Palabras Claves: Efluentes, Cobre, Precipitación, Adsorción.

## ABSTRACT

Industrial effluents that contains dissolved metals must be treated in order to be disposed to the environment and to comply with the standard regulations.

These effluents are generated by the mining and metallurgical activities as well as the natural acid draining.

In the case of small mining companies the aim is oriented towards diminishing the concentration of dissolved metals in the effluent according to the regulations, which is not very easy to be fulfilled by the companies because of financial limitations.

This work is focused to make use of the chemical precipitation method followed by the process of adsorption by using ion exchange resins, which will make possible the effluent to be realised free of dissolved metals. It is discussed the advantages and factors that play a role in the process, based upon trials at laboratory level in order to scaling it up in future works.

Key Words: Cooper, Precipitation, Adsorption.

## I. INTRODUCCIÓN

Las operaciones minero metalúrgicas generan, entre otros, efluentes líquidos que deben ser tratados para su disposición al ambiente según estándares permitidos.

Una opción de usar tecnología para efluentes que contengan metales disueltos consiste abatir estos

contaminantes transformándolos en compuestos inocuos mediante el proceso de precipitación química.

La implementación del proceso de precipitación química en la pequeña y mediana minería requiere la infraestructura y equipos que representan costos significativos frente a ingresos cada vez menores.

\* Docente EAP Ingeniería Metalúrgica UNMSM  
E-mail: lpuentes@unmsm.edu.pe

Por lo tanto el problema, en el caso de empresas de la pequeña y mediana minería, implica buscar innovaciones tecnológicas que reduzcan costos pero que permitan procesar efluentes cumpliendo las disposiciones de la autoridad ambiental.

## II. OBJETIVOS

Formular innovaciones tecnológicas en el proceso de abatir metales disueltos en efluentes generados por empresas de la pequeña y mediana minería.

Determinar principales factores y condiciones de proceso a fin de tener efluentes que cumplan los niveles permitidos para cobre en solución.

Indicar parámetros para escalamientos a procesos de flujo en trabajos futuros.

## III. HIPÓTESIS

El método de precipitación química seguido de un proceso de adsorción con resinas de intercambio iónico permitirá obtener un afluente que cumpla estándares ambientales para operaciones viables en la pequeña y mediana empresa.

## IV. MARCO TEÓRICO

### Precipitación Química.

La precipitación química de un metal en solución mediante un reactivo adecuado esta determinado principalmente por los siguientes factores:

- √ La cinética del proceso
- √ La composición del efluente
- √ El flujo de efluente a tratar

La cinética del proceso de precipitación química a su vez depende de variables como la concentración, temperatura. Además de Las condiciones del proceso como la dosificación del reactivo precipitante y la agitación del sistema para lograr reacción uniforme en toda la masa reaccionante.

La cinética del proceso permite deducir el tiempo de residencia necesario para que un volumen de efluente igual al volumen del recipiente reaccione a producto hasta una determinada fracción convertida.

La composición del efluente influye en el proceso debido a que diferentes metales disueltos necesitaran diferente concentración de reactivo precipitante conforme a su producto de solubilidad haciendo que no todos precipiten uniformemente.

El flujo del efluente es un dato para el diseño del equipo necesario en un determinado sistema de precipitación química, el otro dato es el tiempo de residencia que se obtiene de la cinética del proceso.

Pero la precipitación química puede ser un proceso eficiente hasta ciertos valores de la concentración remanente y para seguir precipitando se necesitaría de otra etapa de precipitación con lo que se incrementan los costos y el tiempo de procesamiento, se plantea entonces una operación de adsorción para la solución remanente que permita lograr el objetivo propuesto.

### Operación de Adsorción

Adsorción es una propiedad de superficie por la cual ciertos sólidos (en este caso resina de intercambio iónico) captan con preferencia determinados metales de una solución concentrándolos en su superficie.

Para llevar a cabo la operación de adsorción es necesario conocer:

- √ La curva de equilibrio entre el metal disuelto en la solución y el metal adsorbido en la resina. La curva de equilibrio se determina experimentalmente para el sistema en operación.
- √ Los parámetros de la operación misma
  - volumen de la solución que ingresa al intercambiador
  - la concentración del metal en la solución,
  - el volumen de la resina, y
  - la concentración del metal en solución efluente final.

## V. PRUEBAS EXPERIMENTALES

El estudio experimental trata un efluente conteniendo principalmente ion cobre para tratarlo en una primera etapa por precipitación química con sulfuro de sodio y en una segunda etapa se hace pasar la solución por un sistema de intercambio iónico a fin de adsorber el cobre hasta que su concentración permanezca en el rango permitido.

### PRECIPITACIÓN QUÍMICA

Las pruebas de precipitación química en laboratorio se realizan en vaso agitado con la finalidad de estudiar la cinética de precipitación de cobre en solución acuosa mediante reactivo precipitante sulfuro de sodio. La concentración promedio de la solución inicial es de 0,42 g de cobre por litro.

Los resultados promedio de estas pruebas se indican en el siguiente cuadro

CUADRO N.º 1

Tiempo (min)	Concent. (g Cu/l)	Fracc.Rx. (x)	Tiempo resid. (min)
0	0.42	0	0
5	0.28	0.33	4.8
10	0.16	0.62	15.2
15	0.09	0.79	33.5
20	0.03	0.93	111.6
25	0.02	0.95	166.3

Los graficos 1 y 2 complementan la información y se deduce que la ecuación cinética del proceso es de la forma:  $-dC/dt = 0,0957 C \exp 0,94$

Donde C: concentración de la solución en el tiempo t

GRÁFICO N.º 1  
PRECIPITACIÓN DE COBRE CON SULFURO

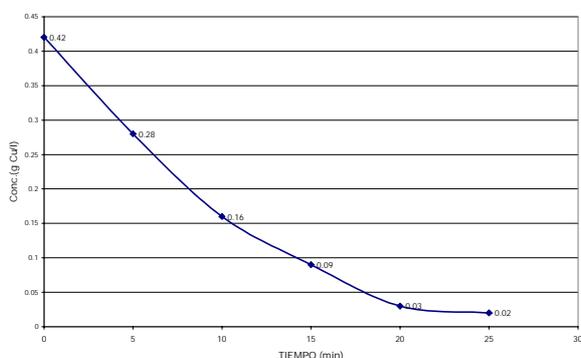
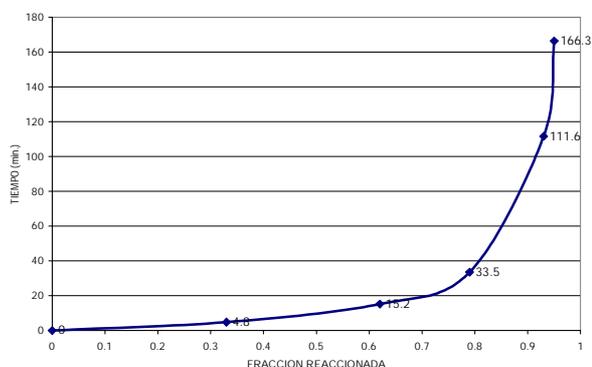


GRÁFICO N.º 2  
TIEMPO DE RESIDENCIA EN SISTEMA DE FLUJO



Para un sistema de flujo respectivo se observa que el tiempo de residencia resulta alrededor de 166 minutos para una fracción reaccionada (x) igual a 0,95.

Para la operación de adsorción, la concentración de la solución que ingresa al intercambiador es de 0,1 g Cu/l (Yo).

### ADSORCIÓN

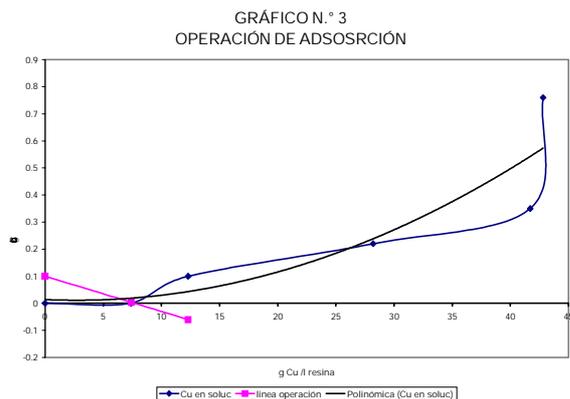
Se construye la curva de equilibrio para el sistema cobre en solución y cobre en la resina de intercambio iónico en base a diferentes concentraciones de cobre en solución.

La línea de operación trazada desde el punto (Yo) permite deducir la concentración de cobre en el efluente final.

Esta concentración para el caso de cobre no debe sobrepasar el valor de 0,001 g Cu/l con lo que se cumple la reglamentación respectiva.

CUADRO N.º 2

Cobre en solución (g Cu/l)	Cobre en la resina (g Cu/l re.)	Línea de operación
0.76	42.8	
0.35	41.7	
0.22	28.2	
0.1	12.3	-0.06
0	7.4	0.004



Los resultados de la curva de equilibrio y operación de adsorción se indican en el cuadro N.º 2 y gráfico N.º 3

## VI. CONCLUSIONES

- La innovación de combinar procesos de precipitación química y adsorción hace viable el abatimiento de la concentración de cobre en la solución muestra hasta los niveles permitidos para su disposición al ambiente.
- Esta tecnología permite disminuir costos en equipos e infraestructura al evitar una segunda etapa de precipitación química con el beneficio adicional de reducir el tiempo total de tratamiento.
- En un sistema de flujo se puede trabajar la etapa de precipitación química hasta una fracción reaccionada de aproximadamente 0.8 que arroja

ría un efluente con una concentración aproximada de 0.1 g de cobre /l para un tiempo de residencia de aproximadamente de 33.5 minutos.

- Para la operación de adsorción se ha probado el ingreso de solución proveniente de la primera etapa con la concentración de 0.1 g Cu/l para lograr un efluente final con una concentración alrededor de 0.001 g Cu/l en el rango permitido para el cobre.
- Es importante continuar pruebas experimentales en función a las diversas variables que intervienen en el proceso a fin de optimizar resultados.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Sawyer Mc Carty. *Chemistry for Environmental Engineering*
2. Castro, Vergara y Sánchez. "Tecnología limpia para la industria minero metalúrgica". U. de Concepción Chile. Art. Presentado en Simposio Nacional Medioambiente, CIP, Lima.
3. Levenspiel. *Chemical Reacción Engineering*.
4. Fogler. *Elements of Chemical Engineering*.
5. D. Lovera y L. Puente. "Tecnologías en el tratamiento de aguas ácidas".
6. "Effluents standards Peru". *Engineering and Mining Journal*, Apr. 96.