

SELECTIVE PRECIPITATION OF ACID MINE DRAINAGE FOR THE OBTAINING OF IRON SULFATE (III) APPLICABLE TO WATER TREATMENT

Elizabeth C. Oré Núñez, MI.¹, Dante M. García Jiménez, MI¹, Salvador Oré Vidalón, Dr.²

¹ Universidad Continental, eore@continental.edu.pe, dgarcia@continental.edu.pe

² Universidad Nacional del Centro del Perú, salvadorore@gmail.com

Abstract -- The objective of the present investigation is to obtain iron sulphate (III) from the selective precipitation of the acid mine drainage to be used as a coagulant in water treatment. The possibility of selective precipitation is based on precipitation diagrams. It has been possible to obtain iron sulphate (III) by the selective precipitation of a synthetic sample of acid mine drainage, previously separating copper and zinc. The pH in a range of 3 to 4 and the concentration of sulfuric acid in the range of 30 to 40% are the significant variables unlike the moisture and solubility time of iron hydroxide(III) which are not significant according to with the Taguchi model.

By batch sedimentation tests, using iron sulphate(III) as coagulant, the first stage of water treatment is considered by sedimentation of the bentonite -to 200 mesh- in 15 minutes is achieved.

Keywords-- Acid mine drainage, selective precipitation, Iron sulphate, coagulant.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.311>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Precipitación Selectiva del Drenaje Ácido de Mina para la Obtención de Sulfato de Hierro(III) aplicable en el Tratamiento de Agua

Elizabeth C. Oré Núñez, MI.¹, Dante M. García Jiménez, MI¹, Salvador Oré Vidalón, Dr.²

¹ Universidad Continental, eore@continental.edu.pe, dgarcia@continental.edu.pe

² Universidad Nacional del Centro del Perú, salvadore@gmail.com

Resumen– El objetivo de esta investigación fue obtener sulfato de hierro(III) a partir de la precipitación selectiva del drenaje ácido de mina para ser utilizado como coagulante en el tratamiento de agua. La posibilidad de la precipitación selectiva se sustenta en los diagramas de precipitación. Se obtuvo el sulfato de hierro(III) mediante la precipitación selectiva de una muestra sintética de drenaje ácido de mina, separando previamente el cobre y zinc. El pH en un rango de 3 a 4 y la concentración del ácido sulfúrico en el rango de 30 a 40 % fueron las variables significativas a diferencia de la humedad y el tiempo de solubilidad del hidróxido de hierro(III) que no son significativas de acuerdo con el modelo de Taguchi.

Mediante las pruebas de sedimentación batch, utilizando como coagulante el sulfato de hierro(III), se logra la primera etapa de tratamiento del agua a través de la sedimentación de la bentonita -a malla 200- en 15 minutos.

Palabras clave: Drenaje ácido de mina, precipitación selectiva, sulfato de hierro, coagulante

I. INTRODUCCIÓN

El Drenaje Ácido de mina, DAM, es un problema de las regiones mineras activas y abandonadas, sus efectos perjudiciales se han descrito en numerosas publicaciones.

El drenaje ácido de mina constituye uno de los mayores problemas de la actividad minera, más aun, considerando los pasivos ambientales que -en Perú- como lo informa el Ministerio de Energía y Minas, sobrepasan los 8600 pasivos ambientales mineros.

Obreque-Contreras, et. Al (2015) indica que el drenaje ácido de mina DAM se produce cuando el material que contiene sulfuro (Fe^{2+} y S^{2-}) se oxida cuando se expone a la atmósfera y la humedad generando ácido sulfúrico y eventualmente causando la precipitación de un conjunto de sustancias caracterizadas generalmente por un color ocre. Dold (2014), menciona que tales fenómenos ocurren en todo el mundo dondequiera que se extraigan materiales que contienen sulfuro, ya sea como productos deseados o como productos secundarios a menudo indeseables, por ejemplo, en el carbón, y las medidas para prevenir la oxidación del sulfuro no son

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.311>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

completamente efectivas. Luptakova (2010) precisa que la generación de DAM aumenta considerablemente después del cierre de las minas; sin embargo, también pueden ocurrir fenómenos similares (generación de acidez y precipitación de minerales asociados) en la naturaleza tras la oxidación de suelos que contienen sulfuros ("suelos de sulfato ácido") y rocas que contienen sulfuros ("drenaje de roca ácida").

Según Simate (2014), los procesos de tratamiento estándar del drenaje ácido de mina se han clasificado en dos: los procesos activos y los procesos pasivos de los cuales existen una amplia revisión bibliográfica.

La tendencia actual, en cuanto se refiere al ambiente, hace necesario la recuperación de los metales pesados que se generan en el drenaje ácido de mina, en primer lugar, por la inestabilidad de los productos formados y su exposición al medio ambiente y, en segundo lugar, porque tienen un valor económico que puede sustentar una recuperación y comercialización.

Hay una gran posibilidad de poder recuperar estos metales pesados generados a través del drenaje ácido de mina mediante una precipitación selectiva mediante el control del pH, y la utilización de un hidróxido.

Además, según lo indicado por Menesez (2009 y 2017), los coagulantes utilizados para el tratamiento de agua y aguas residuales son predominantemente sales inorgánicas de hierro y aluminio. Una posible alternativa es utilizar coagulantes a base de hierro, como el cloruro férrico, el sulfato férrico o el sulfato poliférrico. los que podrían obtenerse a partir del hierro (III) precipitado del DAM. Skoronski (2017) menciona que la coagulación/floculación seguida de sedimentación o flotación se usan comúnmente para tratar el agua potable.

II. MATERIALES Y MÉTODO

El diseño del experimento corresponde a la preparación de la muestra sintética del drenaje ácido de mina considerando que se tienen que reproducir los datos en diferentes pruebas, eliminando algunas interferencias que las muestras reales tienen.

Para la precipitación selectiva del drenaje ácido de mina se instaló un reactor batch con agitación magnética y control de agitación, con calefacción instalada en línea a un potenciómetro de pH y un medidor de temperatura para controlar un proceso isotérmico. La solubilidad del hidróxido de hierro(III) para alcanzar la concentración adecuada para ser

considerada como coagulante se realizó también en un reactor batch con agitación y control del pH y de la concentración del ácido sulfúrico.

Para evaluar el -recientemente obtenido- sulfato de hierro(III) como coagulante, se consideró las pruebas de sedimentación tomando en consideración las precisiones detalladas por Loosdrecht (2016) y los cálculos realizados por Garmsiri & Shirazi (2012).

III. RESULTADOS

La precipitación selectiva del drenaje ácido de mina de la muestra sintética se realizó variando los niveles de pH con la finalidad de precipitar selectivamente el sulfato de hierro(III), el sulfato de cobre y el sulfato de zinc con hidróxido de calcio, de acuerdo al perfil de pH determinado mediante el diagrama de precipitación que se muestra en la figura 1.

El pH inicial se ajustó a un valor de 1.5 con ácido sulfúrico hasta tener una solución clara y completamente con iones de Fe⁺⁺⁺, Cu⁺⁺ y Zn⁺⁺; y mediante el peróxido de hidrógeno se logró oxidar completamente el ión Fe⁺⁺.

Una vez alcanzada estas condiciones se agregó una solución de hidróxido de calcio recién preparada y saturada, hasta alcanzar la precipitación en un rango de pH de 3 a 4, una vez alcanzada la precipitación, se procedió a la sedimentación del precipitado, y se tomaron las muestras de la solución, cuyos resultados se muestran en las Tablas 1, 2 y 3.

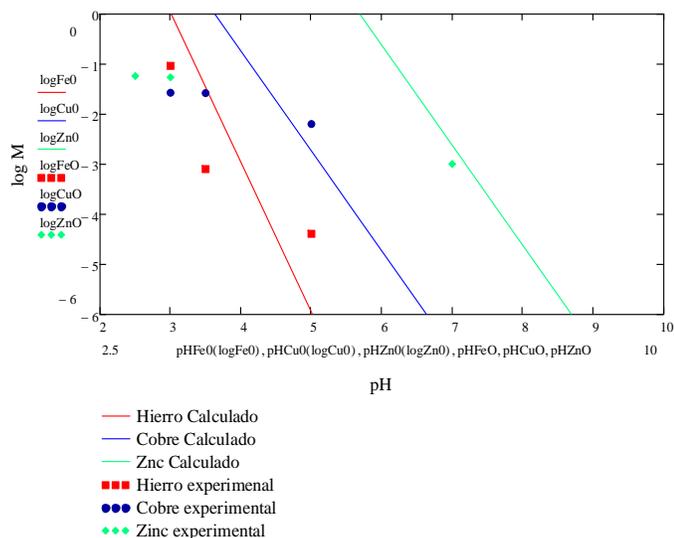


Figura 1. Diagrama de precipitación selectiva del DAM.

Una vez obtenido el hidróxido de hierro(III), mediante la precipitación selectiva se procede a la obtención del sulfato de

hierro(III), para lo cual se considera la manipulación de las variables independientes que son: el pH para la precipitación del hidróxido de hierro (III), la solución del ácido sulfúrico para convertir a sulfato de hierro(III) mediante la siguiente reacción:

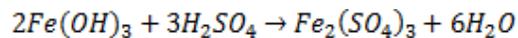


TABLA 1
PRECIPITACIÓN SELECTIVA DEL HIERRO

Muestra	pH	mg de hierro
1	3.0	92.000
2	3.5	0.7942
3	5.0	0.0400

TABLA 2
PRECIPITACIÓN SELECTIVA DEL COBRE

Muestra	pH	mg de cobre
1	3.0	26.6000
2	3.5	26.2108
3	5.0	6.3028

TABLA 3
PRECIPITACIÓN SELECTIVA DEL ZINC

Muestra	pH	mg de zinc
1	3.0	57.6150
2	3.5	54.3050
3	7.0	1.045

Se consideró además como variables independientes: la humedad del precipitado de hidróxido de hierro(III) y el tiempo de la solubilidad.

Aplicando el diseño de experimentos de Taguchi, se tienen los siguientes resultados:

TABLA 4
RESULTADOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

	pH	Ácido sulfúrico % (V/V)	Tiempo, min	Humedad %	% de Fe ⁺⁺⁺
1	3	30	5	10	4.97
2	3	30	10	20	3.33
3	3	40	5	20	6.63
4	3	40	10	10	3.84
5	4	30	5	20	4.53
6	4	30	10	10	6.93
7	4	40	5	10	13.56
8	4	40	10	20	12.82

Prueba de sedimentación batch

Para evaluar el sulfato de hierro(III) como coagulante se realizó las pruebas de sedimentación batch. La muestra a tratar fue bentonita pulveriza, a malla 200, con un peso constante de 3.0 gr para cada una de las pruebas.

Se midió la velocidad de sedimentación considerando muestras de 20 mg, 50 mg y 100 mg por litro de sulfato de hierro(III) obtenido por precipitación selectiva del drenaje ácido de mina.

La sedimentación de la muestra sin coagulante no forma fases de separación, y el tiempo de sedimentación fue de 300 minutos para una altura efectiva de la solución de 140 cm.

La muestra 1 se trató con 20 mg/L de sulfato de hierro(III) obtenido mediante la precipitación del DAM y los resultados se muestran en la Tabla 5.

TABLA 5
PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN BATCH 20 mg/L Fe(SO₄)₃

Tiempo, min.	Altura, cm
0	140
15	120
30	100
45	80
60	58
75	50
90	40
105	30
120	20
135	19
150	15

La muestra 2 se trató con 50 mg/L de sulfato de hierro(III) obtenido mediante la precipitación del drenaje ácido de mina y los resultados se muestran en la Tabla 6.

TABLA 6
PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN BATCH
50 mg/L de Fe(SO₄)₃

Tiempo, min.	Altura, cm
0	140
5	80
10	60
15	15

La muestra 3 se trató con 100 mg/L de sulfato de hierro(III) obtenido mediante la precipitación del drenaje ácido de mina y los resultados se muestran en la Tabla 7.

TABLA 7
PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN BATCH 100 mg/L de Fe(SO₄)₃

Tiempo, min.	Altura, cm
0	140
5	120
10	100
15	63
30	15

Los datos de la prueba de sedimentación se representan en la figura 2.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para realizar el análisis de varianza, se consideró el porcentaje de hierro (III) en la solución de sulfato de hierro (III) como la variable de respuesta continua y los factores categóricos con dos niveles, el pH comprendido entre 3 y 4, la concentración de ácido sulfúrico entre 30 y 40 % (v/v), el tiempo a considerar para la solubilidad del hidróxido de hierro(III) y la humedad del Fe(OH)₃.

La población para el análisis de varianza está establecida por el modelo de Taguchi para cuatro factores y desarrollado por el Minitab 18.

Considerando al pH, concentración de ácido sulfúrico, tiempo y humedad, se presentan en la Figura 3 los efectos principales para medias en la obtención del sulfato de hierro(III), donde los factores de pH y concentración de ácido sulfúrico son altamente significativos dado que no son paralelas a la abscisa a diferencia del tiempo y la humedad.

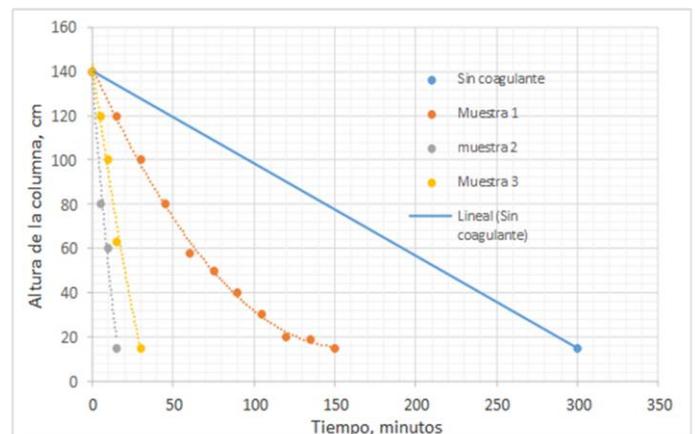


Figura 2. Prueba de sedimentación batch

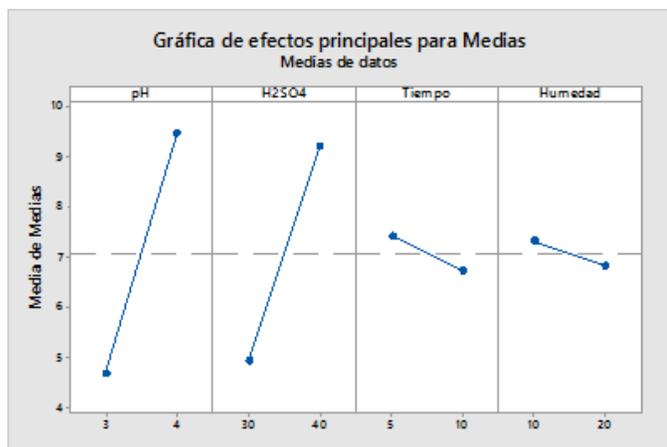


Figura 3. Efectos principales para medias en la obtención de sulfato de hierro (III)

La ecuación de regresión en unidades no codificadas establecidas por el Minitab 18 se registra como:

$$Y = 54.2 - 17.53 * pH - 1.803 * H_2SO_4 - 0.05 * Humedad + 0.637 * pH * H_2SO_4$$

donde Y representa el valor del porcentaje de Fe+3 en la solución.

TABLA 8
VALORES EXPERIMENTALES Y VALORES PRONOSTICADOS DE ACUERDO AL DISEÑO DE TAGUCHI

M	pH	H ₂ SO ₄	Tiempo	Humedad	Y Experim.	Y Taguchi
1	3	30	5	10	4.97	4.4955
2	3	30	10	20	3.33	3.8047
3	3	40	5	20	6.63	5.5805
4	3	40	10	10	3.84	4.8897
5	4	30	5	20	4.53	6.0792
6	4	30	10	10	6.93	5.3885
7	4	40	5	10	13.56	13.5353
8	4	40	10	20	12.82	12.8445

V. CONCLUSIONES

Se obtuvo sulfato de hierro(III) mediante la precipitación selectiva de una muestra sintética de drenaje ácido de mina, separando cobre y zinc. El valor del pH para la precipitación selectiva del hierro(III) tiene los valores óptimos entre 3 y 4. La concentración del ácido sulfúrico influye en la obtención

del sulfato de hierro(III) a partir del hidróxido de hierro(III) precipitado selectivamente del drenaje ácido de mina obteniéndose buenos resultados para una concentración del 40 % (v/v). Además, manteniendo la humedad del hidróxido de hierro(III) en un 10 % se garantiza la forma monohidratada del hidróxido de hierro(III), la cual es soluble en solución de ácido sulfúrico. El tiempo de la solubilidad del hidróxido de hierro(III), para el rango de las concentraciones de ácido sulfúrico utilizadas está comprendida por debajo de los 5 minutos y no tiene efectos principales significativos.

Mediante las pruebas de sedimentación batch utilizando como coagulante el sulfato de hierro(III), obtenido por la precipitación selectiva del drenaje ácido de mina, se logra la primera etapa del tratamiento de agua mediante la sedimentación de la bentonita -a malla 200- durante un tiempo de 15 minutos.

REFERENCIAS

- [1] Obreque-Contreras et al. (2015). Acid Mine Drainage in Chile: An Opportunity to Apply Bioremediation Technology. Hydrology Current Research, 6. doi:10.4172/2157-7587.1000215
- [2] Menezes J. C. S. S., Silva R. A., Arce I. S., Schneider I. A. H.. (2009). Production of a Poly-ferric Sulphate Chemical Coagulant. Mine Water Environ, 28:311-314.
- [3] Dold, B. (2014). Evolution of Acid Mine Drainage Formation in Sulphidic Minerals.
- [4] Garmsiri, M., & Shirazi, H. (2012). A new approach to define batch settling curves for analyzing sedimentation characteristics. Journal of Mining & Environment, 103-111.
- [5] Loosdrecht, M., Nielsen, P., Lopez Vazquez, C., & Brdjanovic, D. (2016). Experimental Methods in Wastewater Treatment. London: IWA Publishing.
- [6] Luptakova, A., Balintova, M., Jencarova, J., Macingova, E., & Prascakova, M. (2010). Metals recovery from acid mine drainage. Nova Biotechnologica, 10(1), 23-32.
- [7] Menezes, J., Colling, A., Silva, R., & Santos, R. (2017). Ferric Sulphate Coagulant Obtained by Leaching from Coal Tailings. Mine Water Environ.
- [8] Simate, G., & Ndlovu, S. (2014). Acid mine drainage: Challenges and opportunities. Journal of Environmental Chemical Engineering, 1785-1083.
- [9] Skoronski, E., Ohrt, A., Oliveira, R., Trevisan, V., Fernandes, M., Miguel, T., Domingui L., Menegar D., Martins, P. (2017). Using Acid Mine Drainage to Recover a Coagulant from Water Treatment Residuals. Mine Water Environ.