

REMOCIÓN DE Cu DE LAS AGUAS DE LA MINA GRANDE DEL COBRE CON EL EMPLEO DE ZEOLITA Y SULFURO DE SODIO. Cu REMOVAL FROM WATER OF THE BIG COPPER MINE WITH THE USE OF ZEOLITE AND SODIUM SULFIDE

Osvel Abrahan Isla¹, Esteban Luis Alfonso Olmo¹, Martha Velázquez Garrido¹, José Castellanos Suárez¹, María Elena Trujillo Nieves¹, Osniel Reyes Padilla¹, Yarisleydis Nicot Rochet¹.

¹Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica, Carretera Varona Km 1½ No 12028, Capdevila, Boyeros, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail:cipimm@ip.minem.cu

RESUMEN

La planta Oro Barita ubicada en el poblado El Cobre en la provincia de Santiago de Cuba dedicada a la producción de oro requiere de una fuente de agua estable para el desarrollo de sus operaciones.

Entre las variantes analizadas por la UEB está el empleo del agua de la cantera Mina Grande del Cobre, esta agua necesita ser tratada ya que presenta un elevado contenido de cobre en su composición y la presencia de este metal en el agua para el proceso de lixiviación de oro incrementa el índice de consumo de cianuro lo que afecta la eficiencia metalúrgica de la planta.

Para el tratamiento del agua proveniente de la Mina Grande del Cobre se empleó zeolita del yacimiento San Andrés, tanto en su forma natural como modificada a su forma sódica y con dos fracciones granulométricas diferentes.

Se determinó la capacidad máxima de adsorción de la zeolita para el cobre así como su cinética, dando como resultado que se requiere más de 8hrs para llegar a su capacidad máxima de adsorción, la cual estuvo en un rango de 0.06 – 0.08 g de Cu en 100 g de zeolita y se necesita de 5 etapas de adsorción para alcanzar valores entre un 93 y 95% de remoción de cobre.

También se evaluó el sulfuro de sodio como agente precipitante del cobre. Con este método se alcanzan valores de remoción de un 99% con una relación 3.21 g de Na₂S/ g de Cu.

Palabras claves: cobre, cianuro, adsorción, zeolita.

ABSTRACT

Gold Barite plant located in the town of El Cobre in Santiago de Cuba province dedicated to gold production requires a stable source of water for the development of its operations. Among the variants analyzed by UEB is the use of water from the Mina Grande del Cobre quarry, this water needs to be treated as having a high copper content in its composition and the presence of this metal in the water to the leaching process gold increases the rate of cyanide consumption affecting metallurgical plant efficiency.

For the treatment of water from the Great Copper Mine (Mina Grande del Cobre) it was used zeolite from San Andres reservoir both in its natural form as modified its sodium form and with two different size fractions

It was determined the maximum adsorption capacity of the zeolite for copper and its kinetics, resulting that more than 8hrs are required to reach its maximum adsorption capacity, which was in a range from 0.06 to 0.08 g Cu 100 g of zeolite and 5 stages needed to achieve adsorption values between 93 and 95% removal of copper. Sodium sulfide was also evaluated as copper precipitant. With this method of removal values 99% are achieved with a ratio of 3.21 g Na₂S / g of Cu.

Keywords: copper, cyanide, adsorption, zeolite.

INTRODUCCIÓN

La explotación de las menas oxidadas del yacimiento Oro Barita se inició en el año 2011, con el empleo de la tecnología de lixiviación por percolación – Merrill Crowe – Fundición, para la obtención de un Doré como producto final. El Doré obtenido reporta contenidos significativos de cobre y muy bajos contenidos de oro afectando la eficiencia metalúrgica global de la planta.

El Depósito estudiado cuenta con una reserva de oro y cobre el cual aporta al proceso de lixiviación un alto contenido de este metal, el cual ensucia el proceso Merrill-Crowe. La explotación del yacimiento se realiza a cielo abierto, por bloques seleccionados de acuerdo a lo establecido por niveles, en el proyecto de explotación minero. La recuperación de oro de las menas oxidadas, se realiza con el empleo de la tecnología de lixiviación en lotes.

La planta atraviesa una situación operacional difícil, dada fundamentalmente a la presencia de elementos cianicidas (Cu, S, Zn y Pb) que han incrementado los consumos de cianuro, cal y polvo de Zn, con la consecuente afectación en la eficiencia metalúrgica de la planta.

Al igual que el mineral el agua que se pretende utilizar en el proceso tecnológico de la planta presenta altos contenidos de cobre en su composición, numerosos han sido los trabajos donde se emplea zeolita para la remoción de metales pesados como Cu, Ni, Fe, Pb y Zn entre otros [1, 2, 3]

Las zeolitas naturales son aluminosilicatos, que presentan una estructura cristalina formada por una combinación tridimensional de tetraedros, en los cuales, cuatro átomos de oxígeno rodean a un átomo de silicio o de aluminio. Debido a que el aluminio presenta una carga positiva menos que el silicio, la estructura tiene una carga negativa neta por cada aluminio, la cual es balanceada por un catión intercambiable.

La estructura microporosa que presenta la zeolita, hace que estos minerales tengan una

superficie interna muy grande en relación a su superficie externa. La microporosidad de estos sólidos es abierta y la estructura permite la transferencia de materia entre el espacio intercristalino y el medio que lo rodea, la cual es limitada por el diámetro de los poros de la zeolita. En las aplicaciones de las zeolitas naturales se aprovechan algunas de las propiedades químicas que presentan estos minerales, destacándose, el intercambio iónico y la adsorción.

Otros autores verificaron que el pretratamiento de la zeolita con NaCl mejora su capacidad de intercambio catiónico, estos resultados se tienen principalmente para la remoción de Cu [6].

Otro aspecto importante en el proceso de adsorción, radica que las partículas de tamaño pequeño de zeolita NaX presentan la mayor capacidad de adsorción [7].

En el siguiente trabajo se utiliza zeolita natural para la remoción del cobre contenido en el agua, apoyado en el criterio de diferentes autores se emplea zeolita natural y modificada a su forma sódica, a su vez también se prueban diferentes tamaños de partículas en la zeolita para comparar su capacidad de adsorción, estas fracciones son (-0.3mm a +0.1mm) y (-3.0mm a +1.0mm). Otra alternativa probada es la precipitación química utilizando sulfuro de sodio, conociendo la afinidad de este por el Cu, se emplea para la precipitación del Cu como sulfuro. El objetivo principal del trabajo es el estudio de ambas variantes para la remoción del cobre contenido en el agua de la cantera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características generales de la zeolita del yacimiento San Andrés

La muestra de zeolita utilizada pertenece al yacimiento San Andrés, la misma está constituida por Clinoptilolita - Heulandita como fase fundamental, también cuenta con Mordenita, Cuarzo y Montmorillonita lo cual

podemos ver debido al incremento de la intensidad a ángulos bajos [Abdel]. La figura

1 exhibe el difractograma de este material.

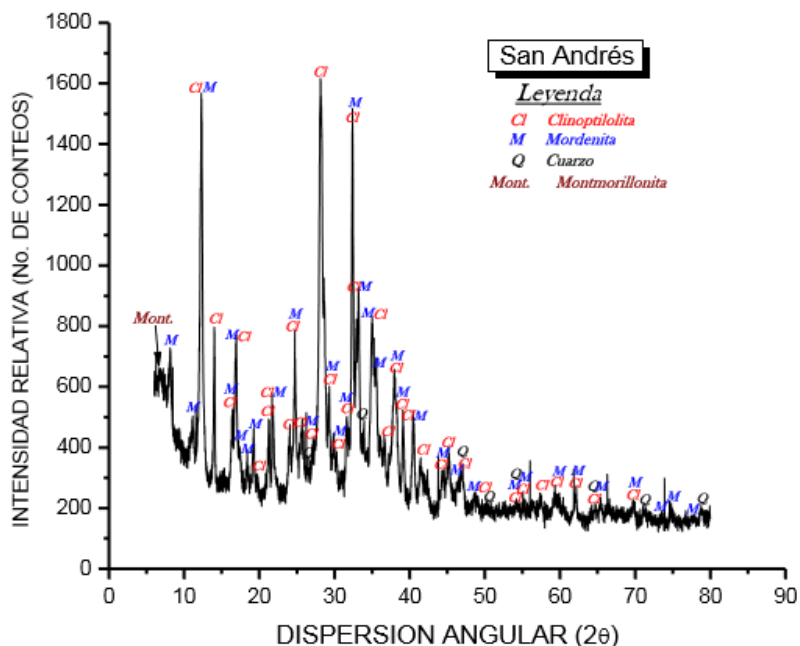


Figura 1. Difractograma de la zeolita San Andrés

Agua de la cantera

Para el estudio realizado se toma una porción de agua de la cantera, esta muestra

se analiza para conocer la composición de metales pesados, principalmente el contenido de Cu, los resultados se muestran en la tabla que se presenta a continuación.

Tabla # I. Composición química del agua de la cantera.

Agua de la cantera	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	SO ₄ (g/L)
Muestra 1	56,04	0.5	44,14	0,18	3,91	1,93
Muestra 2	49.56	0.5	-	-	-	1,18

Pruebas con zeolita

Las pruebas se realizaron en condiciones estática y dinámica con el objetivo de obtener la isoterma y la cinética de adsorción de los metales a remover sobre la zeolita y luego evaluar el comportamiento en columna de los resultados obtenidos en cuanto a tiempo de adsorción y capacidad de carga.

La zeolita empleada fue la del yacimiento San Andrés, ubicado en la provincia Camagüey, tanto en su forma natural así como modificada a su forma sódica. Se estudiaron dos granulometrías: (-3.0mm +1.0mm) y (-0,3mm + 0,1mm).

Prueba estática con zeolita natural

Para la ejecución de esta prueba se emplearon 10 frascos de 250 ml de capacidad, divididos en partes iguales para cada granulometría. Cada frasco del grupo de cinco contenía 5, 10, 15, 30 y 40 g de zeolita en su estado natural respectivamente, y a todos se les añadió 200 ml de agua de la cantera. Se puso en contacto con agitación durante 72 horas y después de transcurrido este tiempo se separó ambas fases: licor y zeolita para su análisis químico.

Prueba estática con zeolita modificada a su forma sódica

Para el desarrollo de esta prueba se realiza el mismo procedimiento explicado en el punto 2.4 que emplea zeolita natural, en este caso se utiliza zeolita modificada a su forma sódica.

Procedimiento para la modificación de la zeolita a su forma sódica

Se puso en contacto 200 g de zeolita de cada una de las granulometrías en estudio con 130 ml de una solución de NaCl y se dejaron en reposo durante 72 horas. Posteriormente se procedió a desechar el licor y lavar varias veces la zeolita con agua destilada. Por último la zeolita se secó por oreo.

Determinación de la cinética de adsorción en zeolita

Para esto se toman 6 frascos plásticos de 250 ml y se le adicionaron 10 g de zeolita natural con una granulometría de (-3 mm +1.0 mm) en 200 ml de agua de la cantera a cada uno. Posteriormente se colocan en una zaranda y cada frasco se extrajo a diferentes tiempos: 0.5, 1, 2, 3, 5 y 8 horas respectivamente.

Una vez extraído se procede a separar las fases contenidas: licor y zeolita para análisis químico del licor.

Pruebas dinámicas con zeolita natural

Para la ejecución de estas pruebas se empleó una columna de cristal donde se depositaba una cama de zeolita natural de granulometría entre (-3,0 + 1,0 mm) a la cual se le hacía pasar el agua de la cantera en un flujo descendente a diferentes flujos de irrigación regulado por una bomba peristáltica. Cada 200 ml se tomaba una

muestra de licor para la determinación de Cu presente.

Pruebas con Sulfuro de Sodio (Na₂S) en un sistema estático

Conociendo la gran afinidad de los iones de cobre en la formación de sulfuro de cobre con la adición de compuestos sulfurados se procedió a realizar varias pruebas con sulfuro de sodio (Na₂S) y estudiar cómo se comporta la reacción.

La prueba consistió en tomar una muestra de agua, añadirle cierta cantidad de Na₂S y mediante una agitación mecánica intensa ver cómo se comportaba la reacción de precipitación pasado el tiempo de agitación. Al término del período establecido de reacción comprobar si aparecía algún precipitado de color oscuro y posteriormente analizar la sedimentación del precipitado.

Pruebas con sulfuro de sodio en un sistema dinámico

Para la ejecución de estas pruebas se empleó una manguera de 10 m, dos bombas peristálticas, dos recipientes para contener la solución de Na₂S y agua de la cantera respectivamente y probetas de 1 litro. Las pruebas se realizaron variando la cantidad de solución de sulfuro y manteniendo fijo el flujo de agua para obtener un valor óptimo del reactivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prueba estática con zeolita natural

En la tabla que se muestra a continuación se presentan los resultados alcanzados en la isoterma de adsorción empleando la zeolita natural en las granulometrías (-3.0mm + 1.0mm) y (-0.3mm + 0.1mm).

Tabla # II. Resultados de la isoterma de adsorción con zeolita natural

No Prueba	Cantidad de zeolita (g)	Granulometría (mm)	Cu (mg/L)	mg de Cu Adsorbidos en la zeolita	% de Cu adsorbido en la zeolita
1	5	(-0.3mm a +0.1mm)	37,41	3,73	0,075
	10		32,49	4,71	0,070
	15		20,64	7,08	0,059
	30		10,56	9,10	0,045
	40		2,43	10,72	0,027
	5	(-3.0mm a +1.0mm)	39,62	3,28	0,061
	10		29,28	5,35	0,055
	15		20,66	7,08	0,047
	30		10,34	9,14	0,030
	40		6,99	9,81	0,025

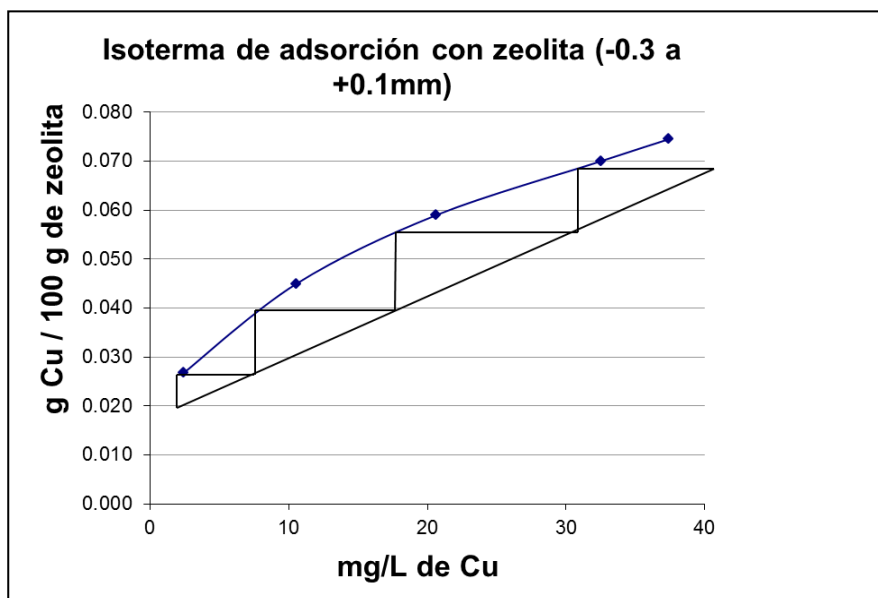


Gráfico # 1. Isotherma adsorción con la fracción de (-0.3mm a +0.1mm).

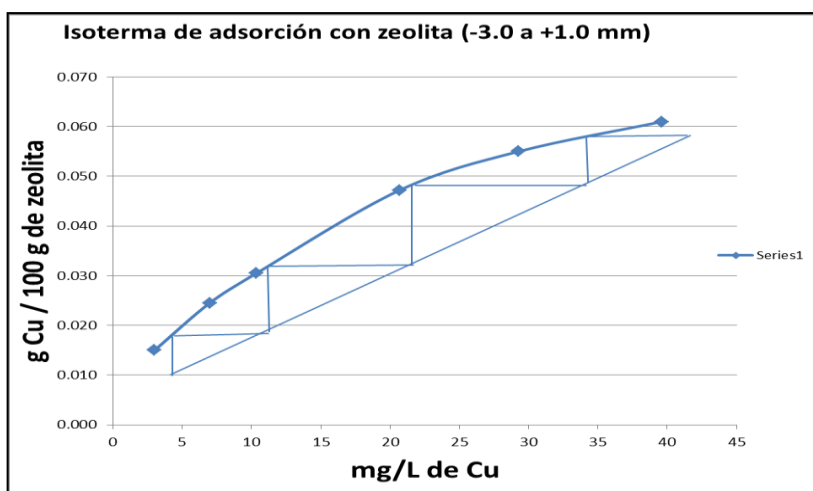


Gráfico # 2. Isotherma adsorción con la fracción de (-3.0mm a +1.0mm).

Las isoterma de adsorción para cada fracción utilizada muestran la cantidad de etapas teóricas que se deben emplear para que la solución quede con un mínimo de cobre, en el gráfico se determina que son necesarias 4 etapas teóricas pero se debe adicionar 1 etapa práctica por lo que serían 5 etapas final, se observa que no hay una diferencia considerable entre las diferentes fracciones de zeolita empleadas y la baja eficiencia de adsorción que muestra la zeolita, la cual se comportó en un rango de 0.06 – 0.07% de cobre.

Este valor indica que en 100g de zeolita puede haber como máximo 0.07g de cobre, si hacemos una relación para 1m³ que tiene contenido 56g de cobre nos queda como

resultado que hacen falta 80kg para purificar el cobre contenido en 1m³ de agua según estas condiciones.

Prueba estática con zeolita modificada a su forma sódica.

La composición química promedio de la zeolita empleada, está compuesta de iones de Ca, Mg, Na y K, como el cobre se encuentra en forma de sulfato por tanto al reaccionar con los iones de Ca precipita el sulfato de calcio, que es un yeso que puede obstruir los poros de la zeolita y disminuir la capacidad de adsorción. Teniendo en cuenta este comportamiento se decidió realizar pruebas con zeolita modificada a su forma sódica.

Tabla # III. Resultados de la zeolita en forma sódica

No Prueba	Cantidad de zeolita (g)	Granulometría (mm)	Cu (mg/L)	mg de Cu Adsorbidos en la zeolita	% de Cu adsorbido en la zeolita
2	5	(-0.3mm a +0.1mm)	40,06	3,20	0,061
	10		29,21	5,27	0,057
	15		15,69	8,07	0,044
	30		8,95	9,42	0,032
	40		8,82	9,91	0,023
	5	(-3.0mm a +1.0mm)	40,68	3,07	0,061
	10		27,66	5,68	0,055
	15		19,21	7,37	0,045
	30		10,89	9,03	0,030
	40		8,88	9,43	0,025

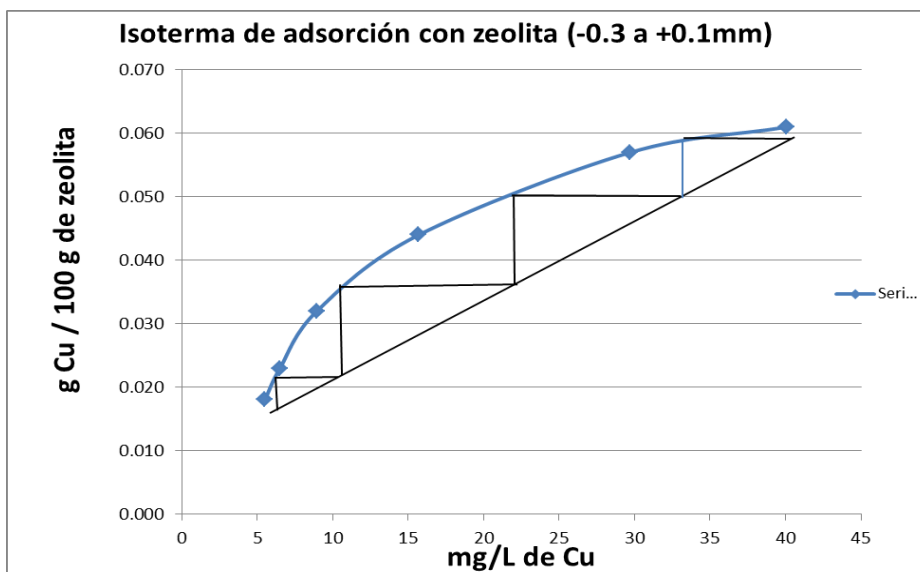


Gráfico # 3. Isoterma de adsorción con la zeolita en forma sódica y la fracción de (-0.3mm a +0.1mm).

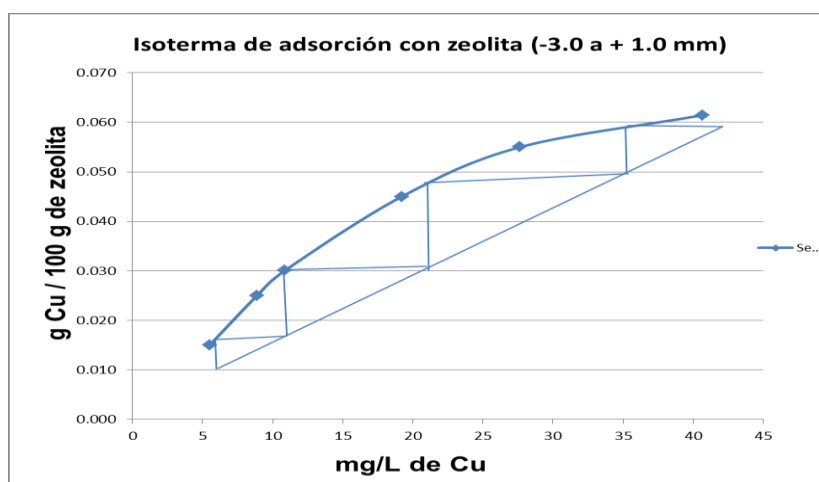


Gráfico # 4. Isoterma de adsorción con la zeolita en forma sódica y la fracción de (-3.0mm a +1.0mm).

En los resultados obtenidos con la zeolita modificada a su forma sódica se observó un comportamiento similar al reportado para la zeolita en su estado natural. Se determina que en las pruebas realizadas el proceso de adsorción con zeolita natural o modificada en las granulometrías estudiadas, reportó una baja eficiencia de adsorción para el cobre.

Determinación de la cinética de adsorción en zeolita

En consideración a los resultados obtenidos se decide utilizar para las pruebas siguientes la zeolita natural en su fracción más gruesa.

En la tabla siguiente se observan los resultados obtenidos para la cinética de adsorción con el empleo de zeolita natural.

Tabla # IV. Resultados de la cinética con la zeolita natural.

No Prueba	Granulometría (mm)	Cantidad de zeolita (g)	Tiempo (h)	Cu (mg/L)	mg de Cu Adsorbidos en la zeolita	% de Cu Adsorbido en la zeolita
3	(-3,0mm a +1,0mm)	10	0.5	55.22	0.16	0.002
		10	1	54.74	0.26	0.003
		10	2	52.47	0.71	0.007
		10	3	49.92	1.22	0.012
		10	5	48.58	1.49	0.015
		10	8	45.35	2.14	0.021

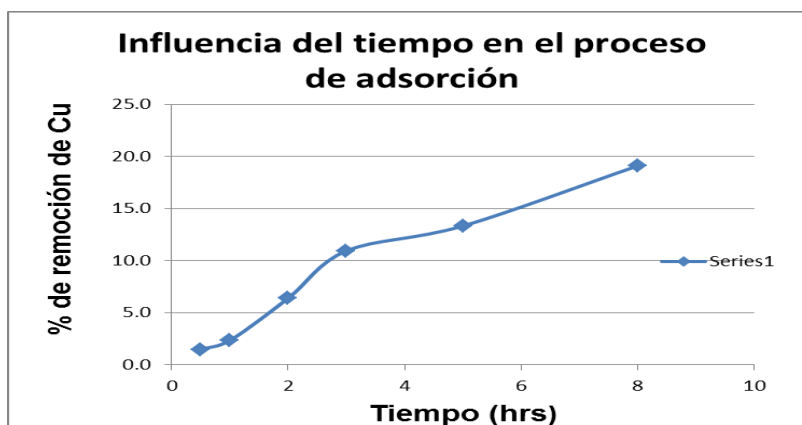


Gráfico # 5. Cinética con zeolita en su forma natural y fracción de (-3.0mm a +1.0mm).

El gráfico expone que la zeolita necesita de un mayor tiempo para alcanzar su máxima capacidad de adsorción. En las condiciones de la prueba se tiene que con un tiempo de contacto de 8hrs la zeolita solo logra remover el 20% de su capacidad máxima de adsorción para el cobre.

Pruebas dinámicas con zeolita natural.

Para el desarrollo de las pruebas se utilizan diferentes camas de zeolita y distintos flujos de $V_s/V_z \cdot h$.

Prueba No 4: En esta prueba se emplea zeolita natural con una granulometría de (-3.0mm a +1.0mm) y un flujo de $1.64 V_s/V_z \cdot h$.

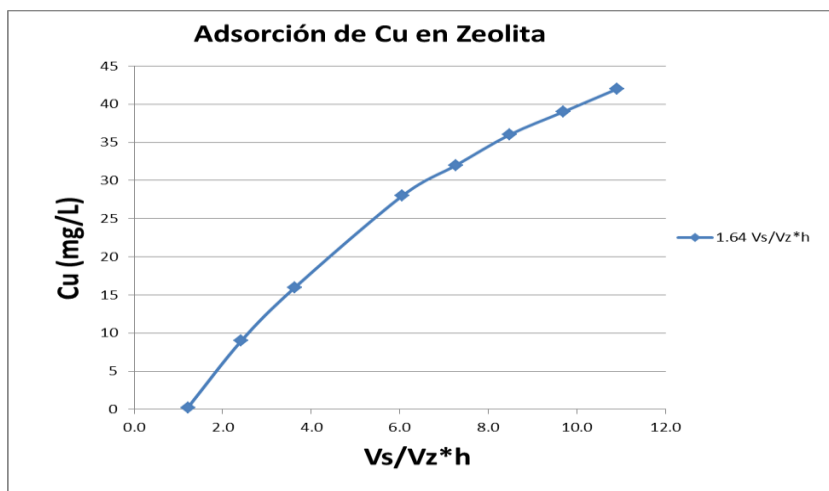


Gráfico # 6. Prueba dinámica de adsorción con zeolita natural y fracción de (-3.0mm a +1.0mm).

Prueba No 5: En este caso se utiliza zeolita natural con una granulometría de (-3.0mm a +1.0mm) y un flujo de 0.7 Vs/Vz*h.

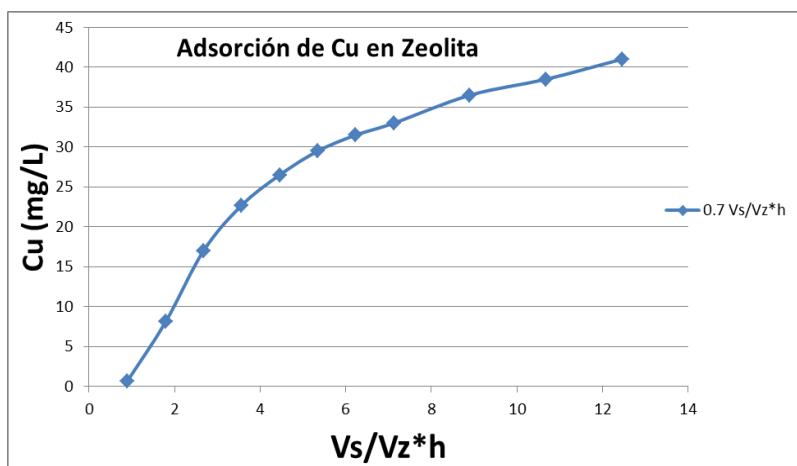


Gráfico # 7. Prueba dinámica de adsorción con zeolita natural y fracción de (-3.0mm a +1.0mm).

Prueba No 6: En este caso se utiliza zeolita natural con una granulometría de (-3.0mm a +1.0mm) y un flujo de 3.27 Vs/Vz*h.

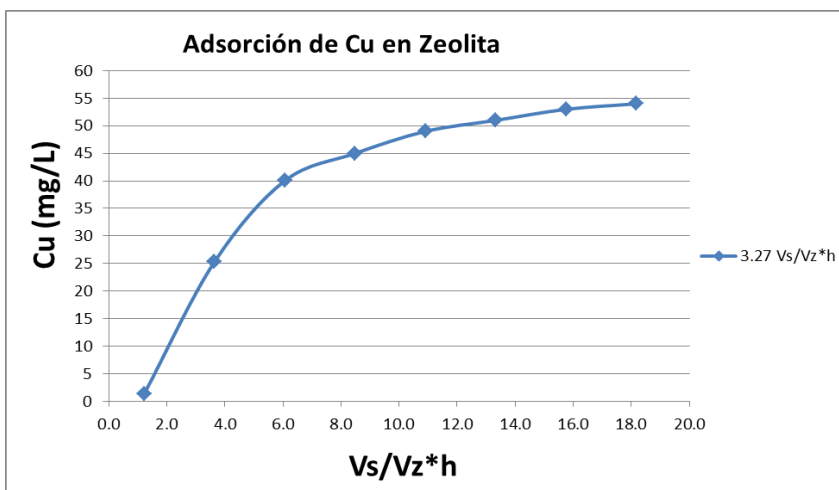


Gráfico # 8. Prueba dinámica de adsorción con zeolita natural y fracción de (-3.0mm a +1.0mm).

En el gráfico que se presenta a continuación se muestran las 3 pruebas anteriormente realizadas para su comparación.

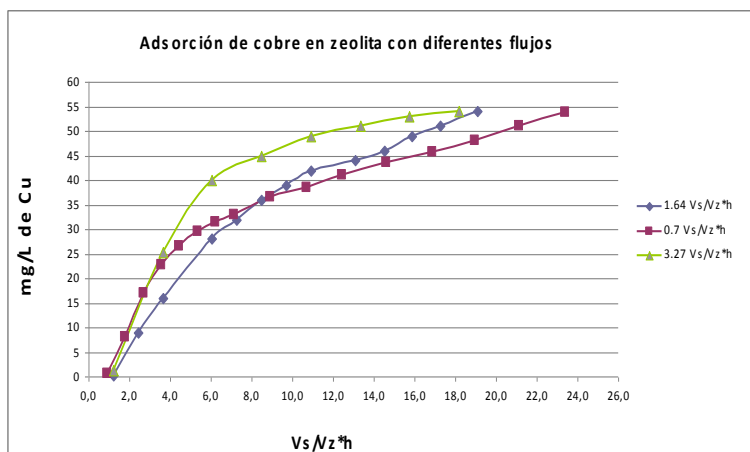


Gráfico # 9. Comparación de las curvas de adsorción con diferentes flujos.

En el gráfico # 9 se exponen las curvas de adsorción obtenidas para los diferentes flujos empleados, como se observa desde las primeras muestras de licores ya se detecta la presencia de cobre, esto corrobora la baja eficiencia de adsorción de la zeolita para el cobre. Se observa que para el menor flujo estudiado la zeolita es capaz de adsorber un mayor Vs/Vz*h hasta su saturación.

Análisis preliminares de las pruebas con zeolita.

1. El empleo de la zeolita reportó una baja capacidad de adsorción de cobre, comportándose en un rango de 0.06 – 0.08 g de Cu/g de zeolita.

2. En las isotermas obtenidas se determinó que se requieren 80kg de zeolita para purificar 1m³ de agua de la cantera.
3. Las pruebas realizadas con distintas granulometrías no mostraron diferencias significativas para el proceso de adsorción, por lo que se recomienda trabajar con la fracción gruesa.
4. La cinética realizada demostró la influencia del tiempo en el proceso indicando que la zeolita requiere de un tiempo mucho mayor a 8hrs para alcanzar su máxima capacidad de adsorción.

5. Así mismo la zeolita en forma sódica no mostró una mayor capacidad de adsorción que la zeolita en estado natural, por lo que se recomienda emplear la zeolita en su esta natural.
6. Las pruebas dinámicas realizadas corroboraron la baja adsorción de la zeolita ya que al pasar 1 Vs/Vz*h solamente ya existe la presencia de cobre en solución.

Pruebas con Sulfuro de Sodio en un sistema dinámico

Conociendo la gran afinidad de los iones de cobre en la formación de sulfuro de cobre con la adición de compuestos sulfurados se procedió a realizar varias pruebas con sulfuro

de sodio (Na₂S) y estudiar cómo se comporta la reacción.

La prueba consistió en tomar una muestra de agua, añadirle cierta cantidad de Na₂S y mediante una agitación mecánica intensa ver cómo se comportaba la reacción de precipitación pasado el tiempo de agitación. Al término del período establecido de reacción comprobar si aparecía algún precipitado de color oscuro y posteriormente analizar la sedimentación del precipitado.

La cantidad del reactivo en cada una de las pruebas se varió en función de un valor óptimo de precipitación.

En la Tabla siguiente se expresan las condiciones en que se desarrolló cada una de las pruebas:

Tabla # V. Características específicas de las pruebas

No Prueba	Volumen de agua de la cantera (L)	Volumen de Solución de Na ₂ S (mL)	
		Concentración 60 g/L	Concentración 30 g/L
7	1	1.9	-
8		1	-
9		3	-
10		-	1

En la tabla que se muestra a continuación se presentan los resultados de análisis químico obtenido de las pruebas anteriormente realizadas.

Tabla # VI. Resultados obtenidos de las pruebas estáticas.

No Prueba	Cu (mg/L)	g de Na ₂ S consumidos	Eficiencia de remoción (%)	pH (final)
7	18.07	0,11	67,76	3,93
8	30,35	0,06	45,84	4,27
9	0,5	0,18	99,11	4,51
10	46,69	0,03	16,68	4,50

Análisis preliminares de los resultados de las pruebas estáticas con Na₂S.

1. De acuerdo a los resultados obtenidos podemos plantear que para alcanzar un 99.11% de remoción se requieren 3.21 g de

Na₂S/g de Cu presente en el agua de la cantera.

2. Se observó que la velocidad de sedimentación del precipitado fue alta, ya que en las pocas horas de realizada la prueba se encontraban casi todas las partículas en el fondo

de la probeta y a las 24hrs sedimentó totalmente el precipitado formado.

Conociendo los resultados obtenidos de la prueba estática se establecieron los flujos de reactivos y agua de la cantera en relación al % de remoción de cobre, con el fin de obtener un valor óptimo de precipitado.

Pruebas dinámicas con Sulfuro de Sodio

Tabla # VII. Prueba dinámica realizada con la muestra # 1 de agua de la cantera.

No Prueba	Flujo de agua (L/h)	Flujo de reactivo (L/h)	Relación/flujo agua-sulfuro	Cu (mg/L)	SO4 (g/L)	S _{Total} (g/L)	pH
11	96	0.36	266	0.5	1.90	0.64	6.28
12	96	0.54	178	0.5	20.09	6.70	8.20

Los mejores resultados se alcanzaron en la prueba 11, los cuales se confirmaron con una segunda muestra de agua de la cantera

corrida en similares condiciones en la prueba 13, estos valores se observan en la tabla mostrada a continuación.

Tabla # VIII. Prueba dinámica realizada con la muestra # 2 de agua de la cantera.

No Prueba	Flujo de agua (L/h)	Flujo de reactivo (L/h)	Relación/flujo agua-sulfuro	Cu (mg/L)	SO4 (g/L)	S _{Total} (g/L)	pH
13	96	0.27	355	0.27	1.70	0.56	6.35

A continuación se expone el esquema de la instalación empleada en la prueba de tratamiento.

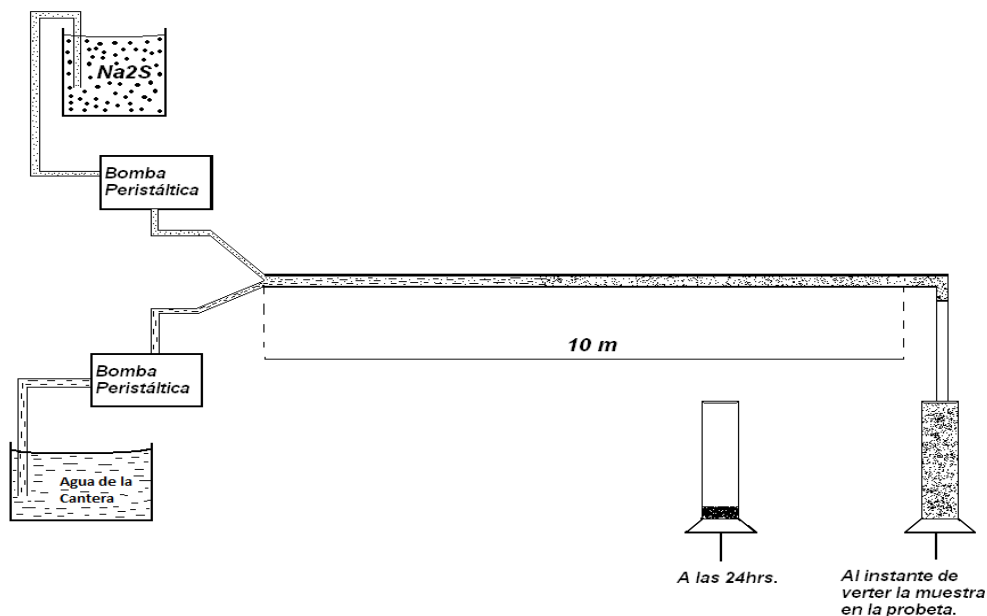


Figura 2. Sistema de precipitación dinámico

Análisis preliminares de los resultados de la prueba dinámica:

1. El cobre contenido en el agua precipita en un 99% para una relación de agua/reactivo de 266/1 – 333/1.

2. El pH del agua tratada es cercano a pH=7, lo que beneficia el proceso ya que disminuye el consumo de cal para llevar el pH a los valores requeridos que son de 10.5-11.
3. En las todas las pruebas realizadas utilizando el reactor tubular se observa una rápida sedimentación del sulfuro de cobre obtenido, con un reboso de agua claro y transparente.
4. No se observa la presencia de sulfuro de sodio libre.

CONCLUSIONES

1. La zeolita natural y modificada reportaron una baja capacidad de adsorción de cobre, comportándose en un rango de 0.06 – 0.08% de Cu.
2. No hay diferencia de adsorción entre la fracción gruesa y la más fina, por lo que se propone trabajar con la mayor granulometría, así mismo no existe valores considerables de adsorción con la zeolita en forma sódica por lo que se debe emplear la zeolita natural. Se determina que la zeolita requiere un tiempo de contacto prolongado estimado de 72hrs.
3. Para que la zeolita pueda adsorber el cobre contenido en 1m³ de agua de la cantera se requieren 0.08ton de zeolita.
4. En las pruebas con Na₂S se demostró que para remover el Cu contenido en 1m³ de agua de la cantera se requieren 0.18kg de Na₂S.
5. En todas las pruebas realizadas utilizando Na₂S se observa una rápida sedimentación del sulfuro de cobre obtenido, a las 24hrs de la prueba todas las partículas han sedimentado.

6. No se observa la presencia de sulfuro de sodio libre.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera, C., Gabaldon, C., Marzal, P. 2005. Sorption characteristics of heavy metal ions by natural zeolite; *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, Vol. 80, (Nº 4):477-481.
- Cagin, V., Morali, N., Imamoglu, I. 2007. Use of natural mineral for the removal of copper and nickel from aqueous solutions to reduce heavy metal content of precipitation sludges; *Journal of Residuals Science & Technology*, Vol. 4, Nº 1, p. 45-54.
- Estupiñán, A. Sarmiento, D. Belalcázar de Galvis, AM. 1998. Remoción de cobre y níquel por intercambio catiónico con una zeolita natural. *Revista Colombiana de Química*, Volumen 27, (No. 1): 31-35.
- Pavón, T. Briones, R. e Ilangovan, K. 2009. Evaluación del efecto de la temperatura en la remoción de cadmio, cobre, hierro, níquel, plomo y zinc del agua utilizando zeolita natural tipo clinoptilolita. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez, T. Velázquez, M. Alonso, J. Tecnologías para obtener productos adsorbentes especiales para eliminación de sustancias nocivas. 2004.
- Rupp, M. Utilização de zeolitas no tratamento de efluentes inorgânicos. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro (1996), 239.
- Tapia, P. Santander, C. Miranda, H. 2011. Utilización de una zeolita natural en la sorción de iones cobre. *Revista de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería*, Universidad Austral de Chile.