

Tratamiento a agua residual de la empresa productora de níquel Ernesto Che Guevara

Wastewater treatment of the Ernesto Che Guevara nickel production company



<http://opn.to/a/Jfaqq>

Sorangel Rivas Romero ^{1*}, Aimet Romulo Rodríguez ¹, Gerardo Menés Vuelta ²

RESUMEN: En el Centro de Investigaciones del Níquel se desarrolló una investigación donde se evaluó un tratamiento para el agua residual de una de las canalizaciones (MAE-3) de la Empresa Productora de níquel Ernesto Che Guevara, con el objetivo de disminuir la carga contaminante vertida al medio por esta MAE y la reincorporación del agua al proceso productivo. Esta canalización vierte, como promedio, 276 m³/h de agua proveniente de los baldeos de las plantas de proceso y de las operaciones de absorción de amoníaco. El tratamiento aplicado consistió en la coagulación-floculación e intercambio iónico con zeolita. Se demostró, mediante corridas a escala de laboratorio, que la coagulación con sulfato de aluminio a una dosis de 10 ppm y la floculación con el floculante A 130 a la dosis de 0,6 ppm, logra la eliminación del 99,87 % de los sólidos en suspensión y elementos como el cobre, hierro y níquel disminuyen considerablemente su concentración. Con la utilización de zeolita se puede disminuir la concentración de nitrógeno presente en el residual, disminuyendo la concentración de amoníaco hasta cerca de un 15 % del inicial. Obteniendo un agua con características físico-químicas adecuadas para re-utilizar en tareas de baldeo de las plantas y para el regado de los caminos mineros, además de que podría reincorporarse para ser suavizada y utilizada en los sistemas de absorción de amoníaco, dejando de consumir un volumen de agua de 2 106 816,72 m³/año de la presa que abastece la población del municipio de Moa.

Palabras clave: agua, recuperación, tratamiento.

ABSTRACT: At the Nickel Research Center, a research was carried out to evaluate a treatment for wastewater from one of the canalization (MAE-3) of the Ernesto Che Guevara Nickel Production Company, with the aim of reducing the polluting load discharged to the environment for this MAE and the reincorporation of water to the productive process. This canalization pours, on average, 276 m³/h of water from the wastewater from the process plants and from the ammonia absorption operations. The applied treatment consisted of coagulation-flocculation and ion exchange with zeolite. It was demonstrated, by laboratory scale tests, that coagulation with aluminum sulphate at a dose of 10 ppm and flocculation with flocculant A 130 at a dose of 0,6 ppm, achieved the elimination of 99,87 % of the solids in suspension and elements such as copper, iron and nickel considerably reduce their concentration. With the use of zeolite can reduce the concentration of nitrogen present in the residual, decreasing the ammonia concentration of about 15 % of the initial. Obtaining a water with physical-chemical characteristics suitable for re-use in tasks of washing of the plants and for the watering of the mining roads, besides that it could be reincorporated to be softened and used in the systems of ammonia absorption; stopping the consumption of volume of water of 2 106 816,72 m³/year of the dam that supplies the population of Moa municipality.

Keywords: water, residual, treatment.

Recibido: 01/06/2018

Aprobado en su forma original: 09/09/2019

¹Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ), Cuba

²Empresa del Níquel Ernesto Che Guevara (ECG), Cuba

*Autor para correspondencia: Sorangel Rivas Romero. E-mail: srivas@cil.moa.minem.cu

INTRODUCCIÓN

En la Empresa Ernesto Che Guevara (ECG) se consumen anualmente más de nueve (9) millones de m³ de agua, de ello, más de siete (7) millones de m³ se vierten a las cinco canalizaciones con que cuenta la empresa para el trasiego hasta la zona costera de las aguas residuales del proceso fabril; la composición de estas aguas posee gran cantidad de sólidos en suspensión y elementos que se encuentran fuera de los límites permisibles para su vertimiento, según lo estipulado en la norma cubana [NC 521:2007 Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas-Especificaciones](#).

Teniendo en cuenta que el volumen de agua que es vertido al medio es significativo, se hace necesario tomar acciones encaminadas a la recuperación, de al menos una parte, del agua que es desechada por esta empresa a través del sistema de desagüe y aplicar tratamientos a estos residuales para disminuir la carga contaminante presente en los mismos. Con este objetivo fue propuesto un proyecto de investigación por el Centro de Investigaciones del Níquel, el que se enfocó específicamente en la canalización denominada MAE-3, la que trasiega agua proveniente de la planta de secado y molienda del mineral, taller mecánico, planta termoeléctrica, laboratorio analítico central, planta de recuperación de amoníaco y de la cocina comedor de la empresa, esta canal vierte como promedio 276 m³/h.

Los sólidos en suspensión contenidos en este residual son elevados y por ello un tratamiento por coagulación- floculación podría ser una alternativa para su disminución y de los elementos contaminantes asociados a los mismos, pudiéndose obtener un agua con características adecuadas para su utilización en la industria. En el caso del nitrógeno, que es otro de los elementos que se encuentra fuera de los límites permisibles para el vertimiento, el intercambio iónico con zeolita puede ser una solución para la disminución de la concentración del mismo en el residual.

MATERIALES Y MÉTODOS

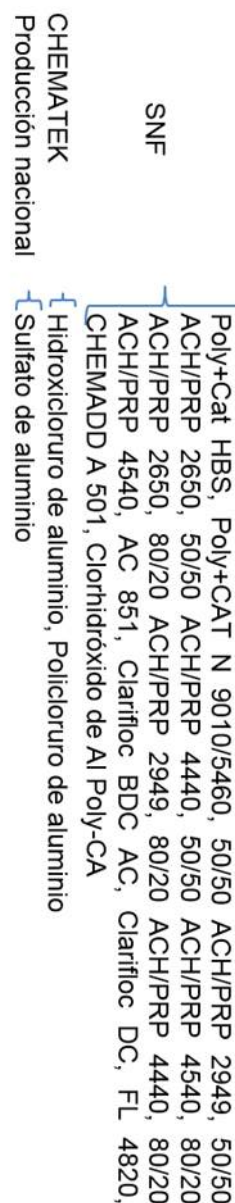
Para determinar la dosis óptima de los coagulantes y floculantes a utilizar, es necesario

realizar pruebas de jarras en una mesa de coagulación para, de forma analítica y visual, determinar la eficacia de cada coagulante y floculante en el proceso ([ATW, 2001](#)).

Materiales

Agua residual

Coagulantes (suministrados por las firmas SNF, CHEMATEK y producción nacional)



Floculantes (fabricados por la firma francesa SNF en forma de sólidos granulados)

Zeolita

- Granulometría: -3,0 mm + 1,0 mm

Métodos y metodologías empleadas

[colombiano, 2011](#); [ISA 5667-5, 2006](#) y [NTE, 1998](#)), tales como:

Toma de las muestras

Para la toma de las muestras se tuvieron en cuenta aspectos indispensables para la seguridad del personal, representatividad y conservación de las mismas ([Norma Colombiana, 2007](#); [Manual](#)

- portar guantes para la toma y manipulación de las muestras;

Tabla 1. Características del residual de la MAE-3 ([Rivas, et al. 2017](#))

Elementos	Prom.	Máx.	Mín.	NC 521:2007	Límite permisible
Ni, mg/L	10,21	39,42	0,20		4
pH	8,47	8,95	7,34		5,5-9,0
Fe, mg/L	0,12	0,24	0,00		10
Cr, mg/L	0,03	0,10	0,00		5
S.S., mg/L	271,22	1 437,00	28,00		75
Sól Sed	1,25	2,00	1,00		10
A&G, mg/L	53,75	120,00	0,00		30
DQO, mg/L	27,50	50,00	10,00		190
DBO ₅ , mg/L	32,00	60,00	8,00		75
Al, mg/L	0,10	0,24	0,00		5
Cd, mg/L	0,00	0,00	0,00		0,2
Pb, mg/L	0,00	0,00	0,00		0,2
Cu, mg/L	0,01	0,03	0,00		2
Hg, mg/L	0,00	0,00	0,00		0,01
Cr ⁶⁺ , mg/L	0,00	0,00	0,00		0,2
T, °C	36,60	38,50	35,30		40
Hidrocarburos totales, mg/L	-	2,40	<1		10
As, mg/L	FL				0,3
Cianuro total, mg/L	0,00	0,00	0,00		1
Compuestos fenólicos, mg/L	<0,02	<0,02	<0,02		0,5
P total, mg/L	FL				5
Organoclorados, mg/L	S.G.A.	S.G.A.	S.G.A.		1,5
N total, mg/L	213,14	419,00	7,28		20
Tolueno, mg/L	S.G.A.	S.G.A.	S.G.A.		0,7
Tricloroetano, mg/L	S.G.A.	S.G.A.	S.G.A.		0,04
Triclorometano, mg/L	S.G.A.	S.G.A.	S.G.A.		0,02
Zn, mg/L	0,07	0,14	0,02		10
Coliformes totales	5,33	16,00	0,00		1000

Leyenda:

S.S.: Sólidos en suspensión

Sól Sed.: Sólidos sedimentables

A&G: Aceites y grasas

DQO: Demanda química de oxígeno

DBO₅: Demanda biológica de oxígeno

S.G.A.: Sin garantía analítica

FL: por debajo del límite de lectura del equipo (As <0,07 y P <0,03)

- los pomos para las muestras a realizarles análisis físico-químico, con tapa rosca garantizándose la seguridad en el cierre;
- las muestras para análisis de coliformes fecales, se deben tomar en frascos esterilizados, protegida la tapa con papel resistente. Dejar espacio vacío desde el límite del líquido a la tapa y cuidar no se moje la boca del frasco durante la toma de las muestras;
- para las muestras de DBO₅ y DQO (demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno, respectivamente) llenar los recipientes hasta la boca del frasco, velar porque no se formen burbujas, lo que garantiza de que no quede atrapado en el frasco oxígeno del ambiente;
- el control de la temperatura y del pH realizarlo en el momento de toma de las muestras.

Metodología para la evaluación de coagulantes (Menés, et al. 2016)

- Homogeneizar la muestra de agua residual a utilizar para las evaluaciones;
- tomar muestra para determinar pH y enviar al laboratorio para los análisis a realizar;
- medir el volumen de agua a utilizar y añadirla en cada beaker;

- fijar una agitación de 100 rpm en el agitador para mantener una turbulencia uniforme, 1 min;
- bajar la agitación a 20 rpm.
- adicionar el coagulante según la dosis a evaluar;
- aumentar velocidad de agitación a 100 rpm por 3 min;
- parar agitación y tomar muestras a los 30 min;
- medir pH y enviar muestra al laboratorio.

Metodología para la evaluación de floculantes (Menés, et al. 2016)

- Desarrollar los pasos del 1 al 7, de la metodología para la evaluación del coagulante;
- bajar la agitación a 20 rpm, mantenerlo durante 5 min;
- adicionar el floculante según la dosis;
- mantener agitación durante 5 min;
- parar agitación y tomar muestras a los 30 min;
- medir pH y enviar muestra al laboratorio.

Metodología para las corridas de intercambio iónico

- a. *Acondicionando la zeolita*

Tabla 2. Características de los floculantes (Rodríguez, et al.)

Nombre	Densidad de carga	Peso Molecular
AN 905	muy baja (~5 %)	estándar
AN 905 SH	muy baja (~5 %)	alto
AN 905 VHM	muy baja (~5 %)	ultra alto
AN 910	baja (~10 %)	estándar
AN 910 SH	baja (~10 %)	alto
AN 910 VHM	baja (~10 %)	ultra alto
AN 913	baja (~13 %)	estándar
AN 923	media (~20 %)	estándar
AN 934	media (~30 %)	estándar
AN 945	alta (~40 %)	estándar
AN 945 SH	alta (~40 %)	alto
AN 945 VHM	alta (~40 %)	ultra alto
AN 956	alta (~50 %)	estándar

Tabla 3. Composición química de la zeolita, %

Al	Cd	Cu	Cr	Fe	Hg	Ni	Pb	Zn	Na
5,78	0	0,002	0	0,763	0	0,012	0	0,008	0,19

1. Tomar muestra inicial y realizar análisis de amoníaco por valoración;
 2. fijar tiempo de muestreo para que sea muestreado cada volumen de la cama (BV);
 3. alimentar solución de ácido clorhídrico al 10 % a columna previamente acondicionada con 100 mL de zeolita, con calibración del flujo a evaluar;
 4. tomar muestras para la medición de pH;
 5. cuando 3 muestras tengan pH ácidos (estables) dejar muestreo;
 6. lavar resina con agua destilada hasta lograr pH cercanos al del agua destilada;
 7. alimentar solución de NaCl al 10 %;
 8. cuando 3 muestras tengan pH básicos altos parar muestreo;
 9. alimentar agua residual;
 10. tomar muestras para la determinación de amoníaco;
 11. cuando 3 muestras tengan amoníacos similares al inicial dejar muestreo;
 12. lavar resina con agua destilada.
- b. *Sin acondicionar la zeolita*
1. Tomar muestras inicial y realizar análisis de amoníaco por valoración
 2. Fijar tiempo de muestreo para que sea muestreado cada volumen de la cama (BV)
 3. Alimentar agua residual
 4. Tomar muestras para la determinación de amoníaco

5. Cuando 3 muestras tengan amoníaco similares al inicial dejar muestreo
6. Lavar resina con agua destilada

Equipamiento:

Equipos:

- Mesa de coagulación (ASTEL)
- Equipo para medir turbiedad (HACH 210Q is).
- Equipo para medir color (HACH DR-2800).
- Equipo para medir pH (HANNA HI 9126).
- Balanza analítica (KERN ABS 120-4)

Cristalería:

- Vasos de vidrio de 1,0 L.
- Pipetas de 1,0, 5,0 y 10 mL.
- Probeta 2,0 L.

Miscelánea:

- Recipientes plásticos (0,5, 5, 10 y 25 L)
- Frascos plásticos para muestras (100 y 250 mL)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de evaluados todos los coagulantes a las dosis de 10, 15 y 20 ppm los mejores resultados de precipitación de los sólidos en suspensión se obtuvieron con los coagulantes sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, AC 851, 80/20 ACH/PRP 4540 y Poly+CAT N 9010/5460. En la [figura 1](#) se muestran los resultados obtenidos con estos cinco coagulantes a las dosis evaluadas.

Los mejores resultados de precipitaciones se obtienen con las dosis de 10 y 15 ppm, escogiéndose para las corridas posteriores con

Tabla 4. Técnicas analíticas

Técnica	Determinación
Espectrometría de absorción atómica	Fe, Al, Hg, Zn, Cd, Ni, Pb, Cu, Cr
Espectrofotométrica (colorimetría)	Cr ⁺⁶
Gravimétrica	Sólidos totales en suspensión, Aceites y grasas, Hidrocarburos totales
Volumétrica	Sólidos sedimentables, cianuro, DBO ₅ , DQO
Electrométrica	pH
Potenciométrica	N total, Compuestos fenólicos
Espectrometría de emisión con plasma acoplado por inducción (ICP)	Fósforo, arsénico
Dilución en tubos múltiples	Coliformes totales

floculantes el coagulante sulfato de aluminio a dosis de 10 ppm, dado a que el mismo es producido en el país.

Corridas experimentales de evaluación de floculantes

Para mejorar la disminución de los sólidos en suspensión presentes en el residual fueron evaluados diferentes floculantes de diferentes densidades de carga y pesos moleculares, a dosis de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 y 1,0 ppm.

A la dosis de 0,8 ppm se lograron los mayores valores de disminución de los sólidos suspendidos, en 11 floculantes con precipitación de 100 %. Los resultados obtenidos no muestran

que exista relación entre el peso molecular y la densidad de carga de los floculantes con la precipitación de los sólidos. [Tabla 5](#).

Además se determinó la disminución de los sólidos sin adicionar ningún reactivo y solo se logra el 78,57 % de eliminación de los mismos.

Se seleccionaron los cuatro floculantes de mejores resultados para hacer pruebas confirmatorias y se adicionó a la investigación el A 130 que es el floculante que se utiliza en la planta potabilizadora de agua de la ECG; los resultados para todos los floculantes a todas las dosis mejoraron con respecto a lo obtenido en las pruebas exploratorias, solo el AN 910 VHM obtiene resultados de precipitación de sólidos

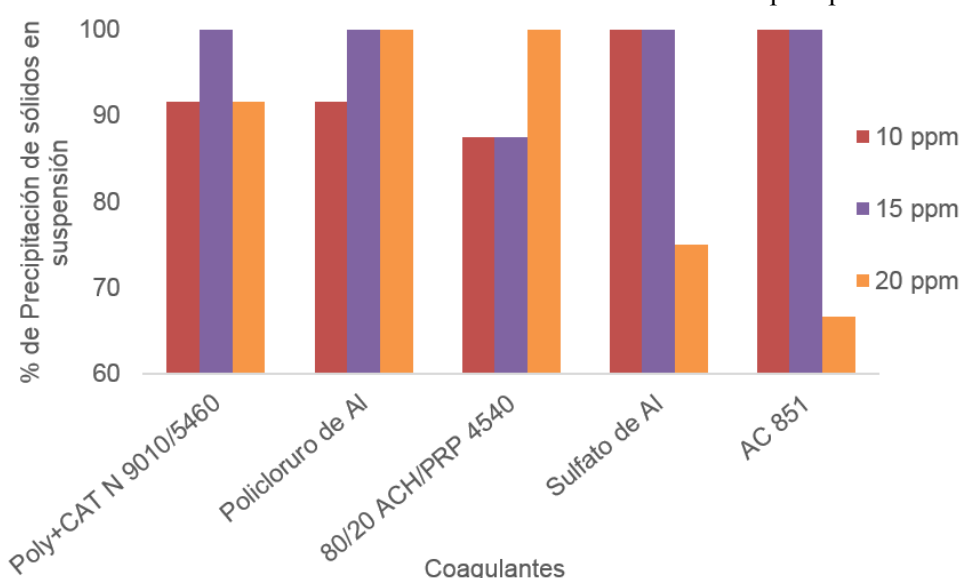


Figura 1. Precipitación de los sólidos en suspensión

Tabla 5. Precipitación de los sólidos en suspensión con diferentes floculantes y dosis, %.
(Coagulante sulfato de aluminio a 10 ppm)

Floculantes	Dosis, ppm				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
AN 905	100,00	85,71	100,00	88,24	85,29
AN 905 SH	78,57	78,57	50,00	100,00	100,00
AN 905 VHM	50,00	85,71	78,57	100,00	100,00
AN 910	100,00	100,00	71,43	100,00	91,18
AN 910 SH	85,71	100,00	57,14	100,00	70,59
AN 910 VHM	64,29	100,00	100,00	100,00	76,47
AN 945	42,86	100,00	82,35	100,00	82,35
AN 945 SH	92,86	100,00	21,43	88,24	88,24
AN 945 VHM	64,29	100,00	50,00	44,12	100,00
AN 913	92,86	92,86	100,00	100,00	100,00
AN 923	28,57	78,57	7,14	100,00	64,71
AN 934	100,00	57,14	92,86	100,00	100,00
AN 956	42,86	28,57	57,14	100,00	94,12

inferiores al 80 % a dosis de 0,6 y 0,8 ppm (ver [figura 2](#)).

Teniendo en cuenta estos resultados y que el A 130 es un floculante que ya está en existencia en la ECG, se decidió escoger este floculante a la dosis de 0,6 ppm debido a que a esta dosis se observó la mejor formación de flóculos.

Corridas experimentales de intercambio iónico

Uno de los elementos que se encuentra fuera de los límites permisibles para el vertimiento es el nitrógeno, luego de aplicar la coagulación - floculación su concentración se mantiene por encima de los 240 mg/L y en la [NC 521:2007](#) se establece que no puede exceder los 20 mg/L. Después de realizar un estudio de los posibles tratamientos, se decide aplicar el intercambio iónico con zeolita, mineral que tiene depósitos en prácticamente todas las provincias del país ([Orozco et al., 1998](#)) y que ha sido utilizado por otros autores para la eliminación del amoníaco en agua ([Córdova, et al., 2013](#); [Abran et al., 2016](#); [Halbinger, et al.\(s.a\)](#); [Pavón et al., \(s.a\)](#) y [Rodríguez et al, \(s.a\)](#).

En la [figura 3](#) se muestran los resultados de los experimentos realizados, en los que se varió el tratamiento previo a la zeolita y los flujos de alimentación, teniendo en cuenta lo descrito en la literatura consultada. En ninguno de los ensayos se logró la eliminación total del amoníaco, aunque se disminuye la concentración del mismo no se logran valores inferiores al límite de nitrógeno que es regulado por la norma 20 mg/L (amoníaco equivalente de aproximadamente 24,25 mg/L).

El mejor resultado se obtuvo dejando en contacto la zeolita con el NaCl durante 72 horas, con este tratamiento previo se logró reducir la concentración de amoníaco hasta un 15,38 % de su contenido inicial, teniéndose el punto de ruptura cuando se han circulado 4 BV.

Evaluación de la reincorporación del agua

En la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara el agua cruda es utilizada una parte para la reposición en los sistemas de enfriamiento, en los sistemas de alta presión, en parte de los baldeos de las plantas, para el regado de los caminos mineros y para formar la película de agua del dique de cola; el agua potable es consumida por todos los procesos de la planta termoenergética, como parte de la reposición de los sistemas de enfriamiento, para la limpieza de las plantas de secado del mineral y en la de calcinación, además de ser consumida por los trabajadores.

Teniendo en cuenta que el consumo es elevado y que los tipos de aguas y fines son diversos, se realizó un análisis para definir en qué punto del proceso es posible reincorporar el residual tratado, teniendo en cuenta las características obtenidas después del tratamiento, [tabla 6](#).

Primeramente se valoró la posibilidad del uso en los sistemas de enfriamiento, esta variante no es posible porque existen varios parámetros que están fuera de los rangos establecidos, ejemplo: el pH es de un agua incrustante lo que no es conveniente para estos sistemas, esta característica también se aprecia en los valores de alcalinidad tan elevados, lo que da la medida de que es una fuente potencial de depósitos; de igual

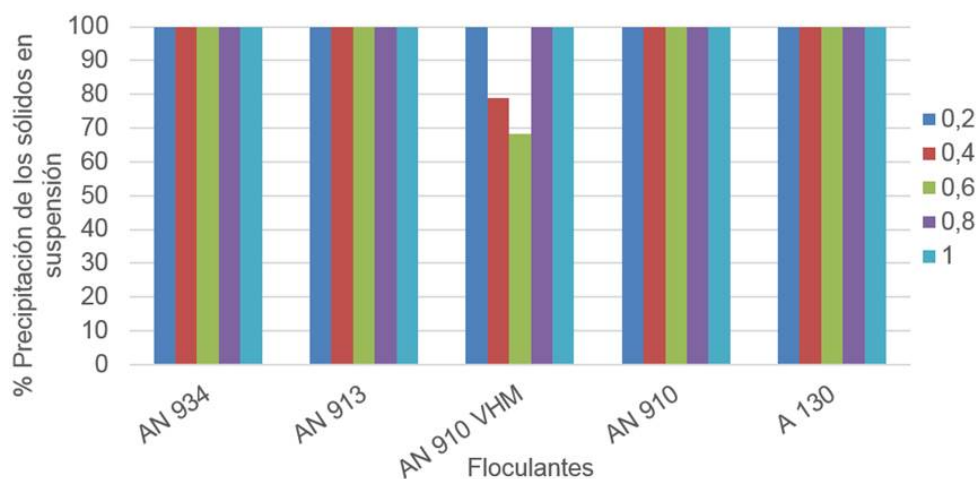


Figura 2. Confirmación de los resultados de precipitación de los sólidos utilizando floculantes

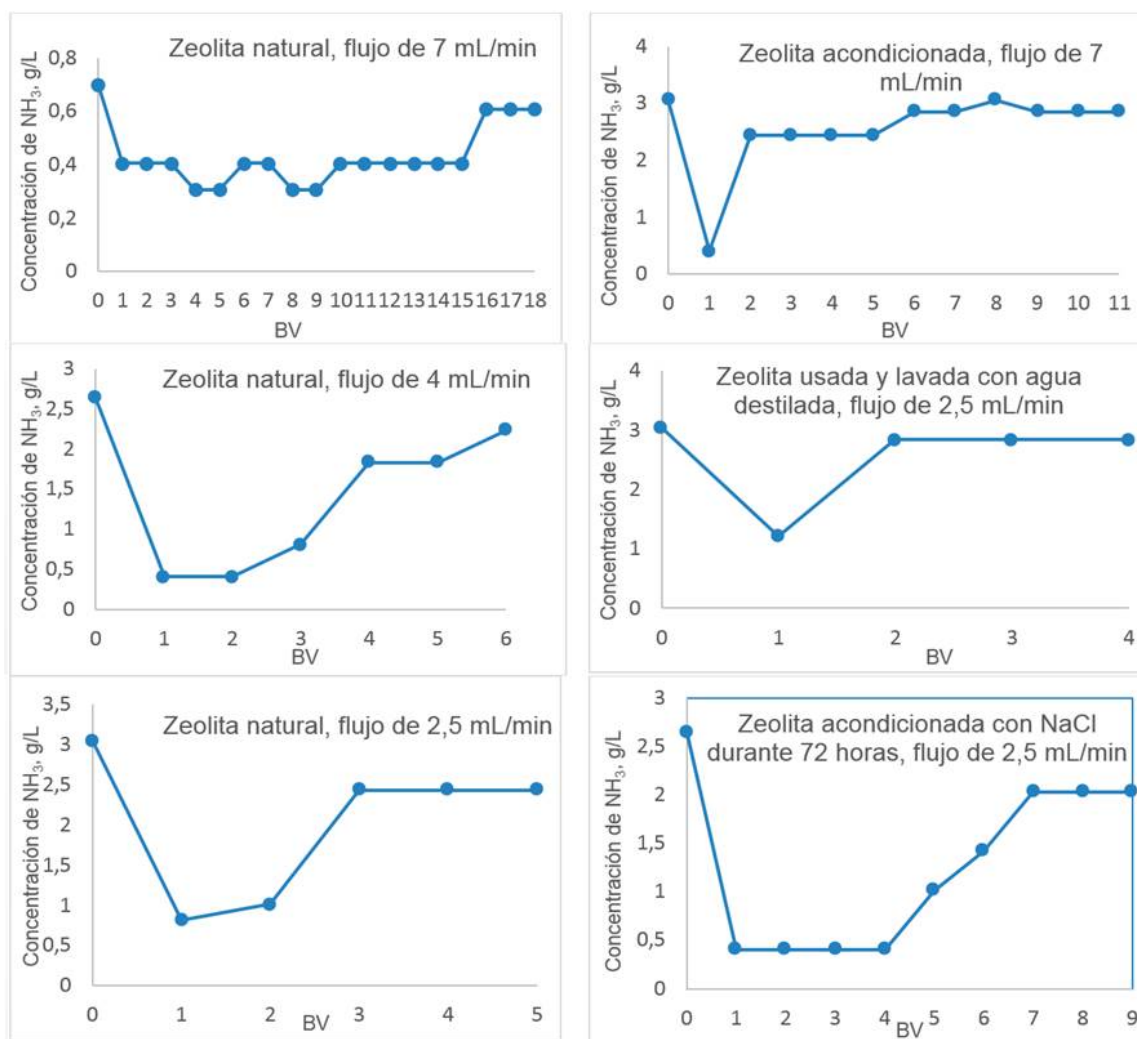


Figura 3. Evaluación de la zeolita con diferentes condiciones de trabajo.

manera el amoníaco tan elevado desactiva la acción de los biocidas utilizados en estos sistemas para el control biológico.

Luego se evaluó sustituir parte del agua potable que es alimentada a la sección de tratamiento químico de la planta termoenergética, la que produce un agua suavizada que es alimentada a las torres de absorción de amoníaco; esta variante, según la caracterización realizada, no posee ningún inconveniente y tiene la ventaja de que posee una concentración de amoníaco que enriquecería el licor débil obtenido para ser usado en la planta de lixiviación y lavado.

De igual forma podría ser utilizada sustituyendo parte del agua cruda que es regada sobre los caminos mineros, la que es adicionada al dique de cola y en el baldeo de las diferentes plantas de proceso, siempre y cuando se logre un mayor porcentaje de eliminación del amoníaco contenido.

ESQUEMA PROPUESTO

Descripción del esquema

El esquema propuesto para el tratamiento de la MAE 3 es el siguiente: alimentar el agua residual a un reactor con dos compartimientos provistos de mecanismos de agitación; en el primero se le inyectaría la solución del coagulante y en el segundo con una agitación inferior el floculante. La mezcla de estos componentes entra a un clarificador donde los sólidos sedimentan, enviándolos a la presa de cola y el efluente a las columnas de intercambio iónico con zeolita; pasando el agua resultante a un depósito, la que posteriormente puede ser utilizada en la sección de tratamiento químico de la planta termoenergética para la producción de agua suavizada; sustituyendo el agua cruda que es utilizada para el baldeo; para regar los caminos mineros o para adicionar al dique de cola.

Tabla 6. Características del residual tratado

Elementos	Residual tratado por coagulación-floculación	Residual después del intercambio iónico	Valores máximos para el uso en sistemas de enfriamiento (https://es.escrib.com, 2018)
pH	8,97	8,65	7,5-8,5
Si, mg/L	0	0	< 180
Alcalinidad, mg/L	>1 000	>1 000	< 25
Dureza total, mg/L	322,43	173,82	< 400
Cloruros, mg/L	978	626	< 300
Ca, ppm	54,75	56,75	-
Mg, ppm	45,1	7,8	-
Dureza cálcica, mg/L	NP	NP	< 200
Turbidez, NTU*	3	2	< 20
Color, U** (Pt/Co)	9	2	-
Conductividad, μ s/cm	6,01	5,57	<4 000
Hierro, mg/L	0	0	< 0,05
Cobre, mg/L	0	0	< 0,01
Aceites y grasas, mg/L	0	0	-
Sólidos en suspensión, mg/L	9	0	-
NH ₃ , mg/L	2 640,30	406,20	< 5

NP: No procede, por el método de valoración no fue posible determinar estos elementos, no se observó cambio de coloración de las muestras.

Cálculo del gasto de operaciones

Se realizó un balance de materiales y se estimaron los gastos, por concepto de materiales a emplear en las operaciones de coagulación-floculación, definiéndose que es posible reincorporar al proceso un volumen anual de 2 106 816,72 m³ de agua, para lo cual se debe gastar 26 604,79 pesos en reactivos químicos, arrojando un ahorro de 500 099,39 pesos anuales.

CONCLUSIONES

Después de hacerse el análisis de la propuesta de tratamiento al residual, se concluye que es posible recuperar el agua que es vertida a la canalización MAE-3 de la ECG, lo que reincorpora al proceso 2 106 816,72 m³ anuales de agua, con un gasto por concepto de reactivos de 26 604,79 pesos/año, mediante un esquema de operación sencillo que consta de un reactor con dos compartimentos, un clarificador y columnas para el intercambio iónico.

BIBLIOGRAFÍA

Abraham, O.; Alfonso, E. & Velázquez, M. 2016. Remoción de Cu de las aguas de la mina grande del cobre con el empleo de zeolita y

sulfuro de sodio. Infomin Vol.8 (No.2), Julio-Diciembre: 34-46, ISSN: 1992-4194.

Association of Water Technologies. 2001. Water Treatment AWT. USA. Technical Manual. 850 p.

Córdova, V.; Rodríguez, I.; Tito, D. & Acosta, R. 2013. Zeolita natural de Palmarito de Cauto para el tratamiento de licores residuales de industrias de fibrocemento. Minería y Geología, V.29 (N.1): 42-59.

Halbinger, Ch.; Ramírez, R. & Durán, A. (s.a). Eliminación de amoníaco en aguas residuales clarificadas por el proceso de intercambio iónico con zeolitas. México D. F: Instituto de Ingeniería, Ciudad Universitaria.

Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2007. Toma de muestra de aguas residuales. República de Colombia.

Instituto Nacional de Salud. 2011. Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio. Bogotá: Colombia, ISBN: 978-958-13-0147-8.

- ISA 5667-5. 2006. Water quality-Sampling-Part 5: Guidance on sampling of drinking water from treatment works and piped distribution systems. Second edition.
- Menés, G. & Rivas, S. 2016. Pretratamiento al agua de entrada al proceso de desmineralización de la empresa Ernesto Che Guevara. Etapa 05, Cuba: CEDINIQ, Moa
- NTE INEN 2 169:98. 1998. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras. Norma técnica ecuatoriana. Primera edición.
- Oficina Nacional de Normalización. NC 521:2007. 2007. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas-Especificaciones. Primera Edición, La Habana: Cuba.
- Orozco, G. & Rizo, R. 1998. Depósitos de zeolitas naturales de Cuba. Acta Geológica Hispánica, V 33 (Nº 1-4): 335-349.
- Pavón, T.; Briones, R. & Ilangovan K. (s.a). Evaluación del efecto de la temperatura en la remoción de cadmio, cobre, hierro, níquel, plomo y zinc del agua utilizando zeolita natural tipo clinoptilolita. México D.F.: Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Available: Available: <http://www.zeocat.es/docs/aguametalspesados.pdf> , [Consulted: February, 2018].
- Rivas, S. & Rodríguez, A. 2017. Tratamiento a agua residual de la ECG. Etapa 02. Cuba: CEDINIQ , Moa.
- Rivas, S. & Rodríguez, A. 2017. Tratamiento a agua residual de la ECG. Etapa 03. Proyecto 600199, Cuba: CEDINIQ , Moa.
- Rodríguez, G. & Rodríguez, I. (s.a). Eliminación de metales tóxicos mediante zeolitas naturales. Available: Available: <https://es.scribd.com/doc/118768305/Parametros-del-agua-de-enfriamiento> , [Consulted: February, 2018].

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)