

Comportamiento de la sedimentación utilizando floculantes a escala de laboratorio en pulpas lixiviadas en la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, Cuba

Eluberto Espinosa-Espinosa
Pedro E. Beyris-Mazar

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar, a escala de laboratorio y en pulpas lixiviadas y magnetizadas, el comportamiento de la sedimentación al añadir los floculantes: PICIZ 7010, AN 910SH y Quimifloc N-30. La evaluación se realizó por el método comparativo aplicando la norma NRBI-579 que utiliza el método de Talmage y Fitch. Al usar floculante Quimifloc N-30, en dosis de 6 g/t de mineral reducido, se incrementó la densidad de la pulpa en 5,9 %; mejoró la clarificación de los licores al disminuir los sólidos en suspensión hasta un 75 % y disminuyó ligeramente el área unitaria requerida.

Palabras clave: proceso Caron; lixiviación carbonato-amoniaca; sedimentación; floculación química; pulpas lateríticas.

Sedimentation effects of adding flocculants to leached slurries at lab scale in the “Comandante Ernesto Che Guevara” plant in Cuba

Abstract

The objective of this investigation was to evaluate the effects of adding PICIZ 7010, AN 910SH and Quimifloc N-30 flocculants to leached and magnetized slurries at lab scale. The evaluation was completed through the comparative method in accordance to the NRBI-579 Standard: Sedimentation Tests which use Talmage and Fitch method. The addition of Quimifloc N-30 flocculants to 6 g/t of reduced ore increased slurry density by 5,9 %, improved liquor clarification as result of a reduction of up to 75 % in suspended solids and slightly reduced the required unit area.

Keywords: Caron process; ammonium carbonate leaching; sedimentation; chemical flocculation; laterite slurries.

1. INTRODUCCIÓN

En la Planta de Lixiviación y Lavado de la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara" la sedimentación es el proceso por el cual se separan la fase sólida, mineral reducido y el licor rico en los metales valiosos extraídos. La operación de los sedimentadores con una densidad de fondo estable, de 1650 g/L a 1750 g/L, incide en los indicadores de eficiencia de la planta, evitando el incremento de la concentración de níquel en solución en las etapas que le siguen, por una disminución del flujo de licor contenido en la pulpa espesada que se extrae del mismo.

La explotación de nuevos yacimientos, con composición química y mineralógica variable, bajo contenido de Fe y altos de SiO₂ y MgO, provocan crisis de sedimentación con baja velocidad de sedimentación, inferiores a 1,0 m/h; la aparición de transversos en los sedimentadores y altos porcentajes de sólidos en suspensión en el licor de reboso, que incrementan las costras que se incrustan en los enfriadores de placas. Esto ocasiona una disminución en su eficiencia de enfriamiento. Por diseño, a la pulpa lixiviada se le aplica la floculación magnética a la entrada del sedimentador.

Investigaciones previas de otros autores han analizado el comportamiento de la sedimentación. Cubillet, Chaviano y Espinosa (1990) desarrollaron evaluaciones a escala de laboratorio con una poliacrilamida en forma de gel, logrando altas velocidades de sedimentación. Al aplicarse este producto a escala industrial los resultados no fueron los esperados: se seleccionó un floculante de alto peso molecular que provocó incrementos en los amperajes de los sedimentadores y, además, la evaluación en la industria se desarrolló sin un sistema automático para la preparación y dosificación del floculante, que incidió negativamente en la misma.

Lalande y Espinosa (1995) realizan evaluaciones a escala de Laboratorio con pulpa de la primera etapa de lixiviación y 15 tipos de floculantes del tipo Percol, determinando que el Percol 338, un polímero aniónico de alto peso molecular, fue el de mejor resultado al lograr mayor velocidad de sedimentación y mayor compactación de la pulpa sedimentada; a escala industrial este floculante no fue efectivo, se ignoró en la selección del polímero el diseño del sedimentador con bajo torque en el mecanismo de accionamiento, lo que provocó altos amperajes en el motor de este equipo.

Morales, Ganzó y Espinosa (2000) evalúan 12 floculantes en la pulpa lixiviada de la primera etapa de lixiviación, magnetizada y sin magnetizar. El de mejor resultados fue el Quimifloc N-30; este floculante tiene carácter aniónico a base de poliacrilamida de alto peso molecular. Logró resultados

superiores en la velocidad de sedimentación y en la densidad final de la pulpa y menores porcentajes de sólidos en suspensión. Se aplicó la norma NRBI-579.

Landrau, Martín y Espinosa (2001) aplican 14 floculantes, en pulpa magnetizada y sin magnetizar, de la primera etapa de lixiviación. De ellos el mejor fue el AM10-THU, alcanzándose velocidad de sedimentación superior al compararla con la que se logró con la pulpa en blanco, menor porcentaje de sólidos en suspensión y mayor compactación de la pulpa. Se aplicó la norma NRBI-579.

Nicolini (2004) evalúa 13 floculantes, en pulpa de la primera y tercera etapas de lixiviación y para la última etapa de lavado: FA 920 SHR, AH 91 AN 905 SH, AN 910 SH, AN 913 SH, AN 923 SH, AN 934 SH, AN 945 SH, AN 113 SH, AN 118 SH, AN 125 SH y AN 132 SH, a concentración de 0,5 g/L. Determinó que el floculante AN910-SH fue el de mejores resultados; durante la evaluación a escala de laboratorio no aplicó la norma NRBI-579, sino una metodología en la que detuvo la sedimentación al cabo de los diez minutos de iniciada la experimentación. Por otra parte, las dosis y las velocidades referidas que reportó no se corresponden al tiempo de sedimentación y a la altura de la cama final del sólido sedimentado y que mostró en el Informe. Al aplicar este floculante a escala industrial no consideró los cambios en la composición mineralógica del mineral alimentado al proceso.

Alavés-Bolaños (2005) evalúa en pulpa de la primera etapa de lixiviación, magnetizada y no magnetizada, los floculantes Quimifloc C-300, A-100, C-30HMW, C-13, C-11 y C-85. Los mejores resultados para las pulpas sin magnetizar se lograron con el Quimifloc C-30HMW, alcanzando velocidad de sedimentación de 1,39 m/h y para la pulpa magnetizada, el mejor fue el Quimifloc C-12, con una velocidad de 2,11 m/h. Aplicó en la experimentación una dosis de 3 g/t hasta 8 g/t, logró buena clarificación del licor y buena compactación de la pulpa, con ambas dosis; no logró que estos resultados se implementaran a escala industrial por lo que se desconoce los posibles resultados que se obtendrían con los mismos.

García y Rojas (2006) en la Empresa "René Ramos Latourt" evalúan, en pulpa de mineral reducido y pulpa de sulfuro de níquel, cinco floculantes, los CHEMADD A-41, 42 y 43 de la firma CHEMATEK, con el IP-600 de la firma ZAR CIA y el Percol, versión canadiense del MAGNAFLOC R-155. En los experimentos se reportó incremento en la velocidad de sedimentación y una disminución del porcentaje de los sólidos en suspensión en el licor, pero no identifican el de mejor resultado; todos los floculantes se comportaron de

forma similar. No se tiene conocimiento de similar comportamiento de la sedimentación para floculantes con diferentes formulaciones al aplicarlos en esta pulpa.

Jiménez (2012) evalúa para la pulpa lixiviada el floculante PICIZ 7010, a escala industrial, en un sedimentador de alta capacidad, de la primera etapa de lixiviación, logrando densidades bajas en la pulpa espesada (de 1,640 kg/L a 1,715 kg/L) y el contenido de los sólidos en suspensión en el licor de reboso fueron altos, oscilando de 160 mg/L a 200 mg/L; valores que son similares a los que se alcanzan sin la aplicación de floculante.

Rivas (2012a) evalúa siete floculantes en pulpa lixiviada y magnetizadas de la primera etapa de lixiviación: AN-910SH, A-110HMW, A-100 HMW, A-115V, A-120V, N-100 y N-300. Aplicó la norma NRBI-579; de estos polímeros, seis lograron los mejores resultados con una dosis de 9 g/t, muy elevada para el estado técnico de los sedimentadores instalados, a 6 g/t logró los mejores resultados con el floculante A-100HMW.

Rivas (2012b) realiza nuevas evaluaciones con los floculantes AN-910SH, A-115V y el PICIZ 7010 para pulpa lixiviada de la primera etapa de lixiviación; identificó como el mejor el floculante AN-910SH, aplicando una dosis de 3 g/t a escala de laboratorio, logrando una velocidad de sedimentación de 2,03 m/h. El área unitaria fue de 0,33 m²·t/d pero no logró disminuir los porcentajes de sólidos en suspensión a menos de 120 mg/L.

En las investigaciones antes relacionadas no se ha encontrado un floculante que logre mejorar el comportamiento de la sedimentación para el proceso de lixiviación, con velocidades de 1,0 m/h a 1,5 m/h, densidades de 1,65 kg/L a 1,75 kg/L, sólidos en suspensión menores a 100 mg/L, sin incrementar el torque del mecanismo del sedimentador. Por ello esta investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento de la sedimentación a escala de laboratorio, para muestras de pulpas lixiviadas y magnetizadas, en la Empresa "Ernesto Che Guevara" con tres tipos de floculantes: PICIZ 7010, AN-910SH y el Quimifloc N-30.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del trabajo se empleó:

- Pulpa de mineral reducido magnetizada de la primera etapa de lixiviación, compuesta por una fase líquida, solución carbonato amoniacal, y la sólida, por el mineral reducido. En la Tabla 1 se presenta la composición química y las propiedades de la pulpa.

Tabla 1: Composición química y propiedades de la pulpa, lixiviada y magnetizada, de mineral reducido

Elementos	UM	Solución carbonato amoniacal	Elementos	UM	Mineral reducido
NH ₃		68,00	Ni		0,33
CO ₂		32,00	Co	%	0,05
Ni	g/L	8,50	Fe		42,00
Co		0,2	Densidad	t/m ³	4,17
MgO		0,05	Tamaño	<200 mesh	85,00
S		3,80	(%)	>100 mesh	7,00
Densidad	t/m ³	1,025			
Temperatura	°C	ambiente		-	
pH	-	8 a 9			

- Floculante: solución preparada a 0,05 %
- Aparatos y utensilios: probetas graduadas de 1 000 mL de capacidad, bastón metálico, con cilindro de goma, para la agitación de la pulpa dentro de la probeta; balanza digital, con precisión de 0,1 g, de 3 000 g de capacidad, balanza analítica, vidrio reloj, espátulas, agitador de velocidad variable; frascos plásticos de 100 mL, 250 mL y 500 mL; cronómetro; jeringuillas plásticas graduadas, de 1,0 mL y 2,5 mL de capacidad; linterna.
- Norma NRBI-579: Pruebas de sedimentación. En esta norma se utiliza el método de Talmage y Fitch para el cálculo de los parámetros de funcionamiento de los sedimentadores o espesadores, que consiste en la confección de la curva de sedimentación característica de la pulpa investigada. A partir de las lecturas de la altura de la cama de sólidos, en suspensión en función del tiempo, y valiéndose de construcciones gráficas, se determinan los factores necesarios para el cálculo de la velocidad de sedimentación y el área unitaria de sedimentación.

2.1. Metodología de trabajo

La muestra de pulpa lixiviada se tomó en la primera etapa de la Planta de Lixiviación, posterior a la magnetización; la experimentación se realizó con la pulpa a temperatura ambiente. Se determinaron las densidades y el contenido de sólidos para calcular la dosis de floculante para cada uno de los experimentos.

Se prepararon las soluciones de floculantes, a concentraciones de 0,05 %, aplicando dosis de 3,0 g/t y 6,0 g/t para definir a escala de laboratorio el comportamiento de la sedimentación con cada uno de los floculantes empleados.

Se aplicó un diseño de experimento factorial 2^3 , se determinó el número de experimentos de ocho con tres réplicas para un total de 24 ensayos; se tomó la lectura final de la altura del sólido al cabo de los 60 min. Para cada una de las réplicas se evaluó una muestra en blanco, para comparar el comportamiento de la sedimentación, compactación de la pulpa y la clarificación del licor, con las que se le aplicó floculante. A cada uno de los experimentos se le tomó muestras de licor para determinar el contenido de sólidos en suspensión.

Los resultados experimentales se trataron a través del EXCEL y el software Visio 2010 para determinar el tiempo unitario y la altura unitaria, que permite mayor precisión en el trazado de las líneas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos obtenidos durante las experimentaciones se realizaron los cálculos en una hoja de EXCEL, tabulados los resultados de las lecturas se graficaron, calculándose la velocidad de sedimentación; los resultados medios obtenidos se muestran en la Tabla 2, para cada uno de los floculantes evaluados.

Con el floculante Quimifloc N-30 no se incrementaron las densidades finales de las pulpas para las dosis de 3 g/t y 6 g/t, comparadas con las muestras en blanco; superó las velocidades de sedimentación en un 34,7 % y 54,2 %, respectivamente, para ambas dosis. El área unitaria es superior, por la formación de los flóculos en la pulpa espesada y la ausencia de agitación dentro de la probeta, el volumen final de la pulpa es mayor. Disminuyó el porcentaje de sólidos en suspensión al cabo de los 30 min en un 58 % y 62 %, respectivamente, para cada una de las dosis.

Los resultados obtenidos en la densidad final de la pulpa, con el floculante PICIZ 7010, aplicando la dosis de 3 g/t, fue ligeramente inferior, comparado el comportamiento de la sedimentación para la muestra de pulpa en blanco; mientras que para la dosis de 6 g/t fue superior esta densidad. Se incrementó la velocidad de sedimentación en un 15,9 % y 27,8 %, respectivamente, para ambas dosis. El área unitaria fue superior en ambos casos, disminuyendo el contenido de sólidos en suspensión en el licor clarificado, al cabo de 30 min, en un 42 % y 50 %, respectivamente, para cada una de las dosis.

Con el floculante AN-910SH, la densidad final de la pulpa, comparada con la muestra en blanco, para dosis de 3 g/t, es inferior y para dosis de 6 g/t es superior; incrementó las velocidades de sedimentación en un 1,4 % y 34,9 %, respectivamente, para ambas dosis. El área unitaria es superior en ambos casos, al compararla con la muestra en blanco, disminuye el contenido de los sólidos en suspensión al cabo de 30 min, en un 44 %, para cada una de las dosis.

En la Figura 1 se observa el comportamiento de las densidades finales de las pulpas, para cada polímero, a cada una de las dosis evaluadas, estas se incrementaron proporcionalmente al incrementarse las dosis del polímero; el de mejores resultados es el Quimifloc N-30.

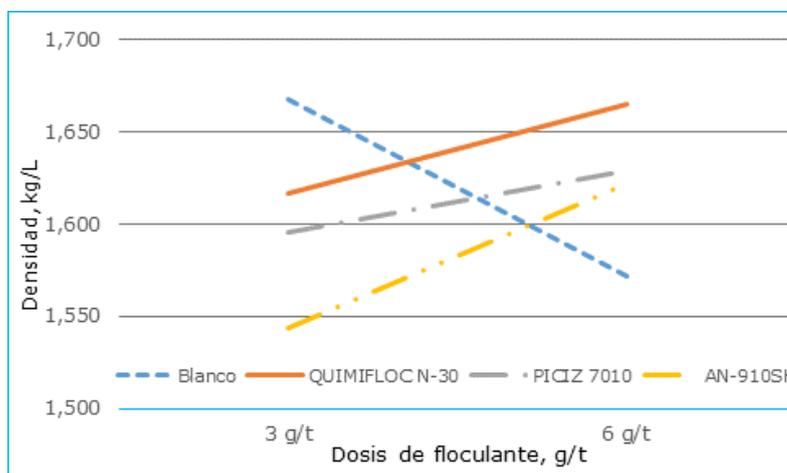


Figura 1. Densidad final de la pulpa para cada dosis evaluada.

El comportamiento del área unitaria, aplicando el floculante QUIMIFLOC N-30, con la dosis de 3 g/t, se requiere de 3,15 % y 3,58 % área unitaria inferior a la requerida al aplicar los floculantes PICIZ 7010 y AN-910HS, respectivamente, tal y como se observa en la Figura 2.

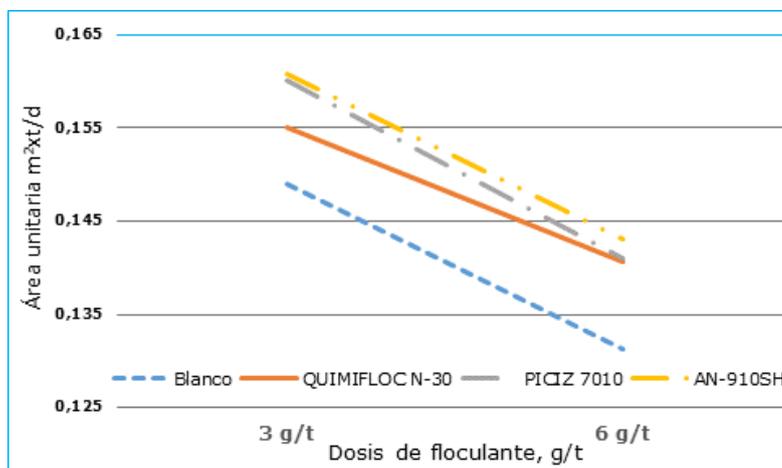


Figura 2. Área unitaria requerida para cada polímero en las dosis evaluadas.

En la Figura 3 se observan las velocidades de sedimentación obtenidas para cada uno de los floculante evaluados, para cada una de las dosis; el floculante de mejor resultado fue el QUIMIFLOC N-30 que alcanzó los valores mayores.

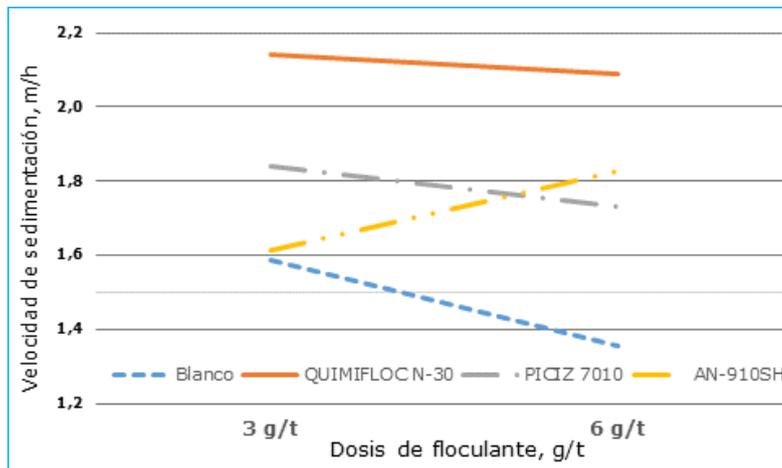


Figura 3. Velocidad de sedimentación calculada para el tiempo unitario y la altura unitaria.

En los sólidos en suspensión, para cada uno de los polímeros evaluados, no se logran diferencias significativas al incrementar las dosis para cada uno de los floculantes; los valores más bajos se alcanzan con el Quimifloc N-30 (Figura 4).

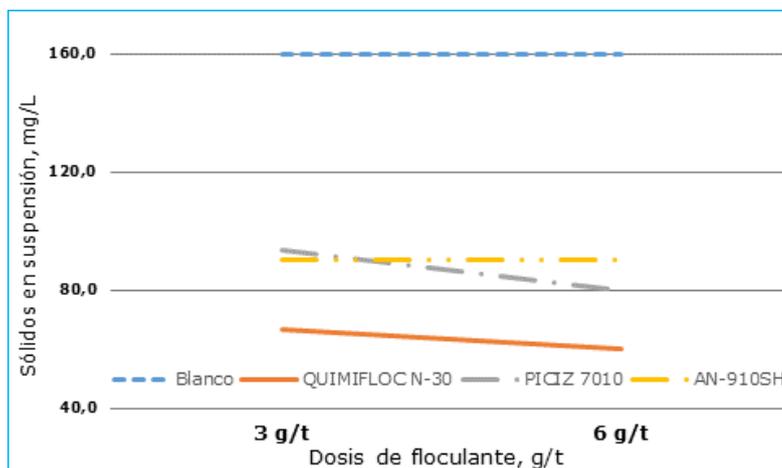


Figura 4. Contenido de sólidos en suspensión para cada polímero.

En la Tabla 2 se muestra la estadística descriptiva de la composición química del mineral alimentado durante la etapa de evaluación de los floculantes; el contenido de Fe estuvo en los valores normales de operación, oscilando de 39,4 % hasta 41,2 %; mientras que la SiO₂ osciló de 10,3 % hasta 12,8 %, valores altos que provocan baja velocidad de sedimentación a la pulpa y se incrementa la altura de la cama de sólidos en el

sedimentador. Se considera que esta composición pudo tener influencia en los resultados obtenidos durante la evaluación.

Tabla No, 2: Estadística descriptiva, composición química de los minerales alimentados durante la evaluación

	Ni HR-1	Co	Fe	H ₂ O	SiO ₂	MgO	Número de mineral
Media	1,161	0,104	40,458	3,019	11,380	3,224	1,319
Error típico	0,009	0,002	0,234	0,061	0,318	0,175	0,106
Mediana	1,161	0,104	40,354	3,050	11,613	3,360	1,192
Desviación estándar	0,024	0,005	0,620	0,161	0,841	0,463	0,280
Varianza de la muestra	0,001	0,000	0,384	0,026	0,707	0,214	0,078
Curtosis	-1,220	-0,393	-0,787	0,847	0,057	-0,396	-1,373
Coefficiente de asimetría	-0,051	-0,773	-0,292	-0,779	0,596	0,581	0,014
Rango	0,064	0,014	1,764	0,500	2,465	1,244	0,776
Mínimo	1,129	0,095	39,485	2,733	10,362	2,764	0,916
Máximo	1,193	0,109	41,249	3,233	12,827	4,008	1,692
Cuenta	7	7	7	7	7	7	7

Tal y como se observa en la Figura 5, en la medida que disminuye el contenido de Fe en el mineral alimentado se incrementa el contenido de SiO₂, con un coeficiente de correlación fuerte: $R^2=0,9817$.

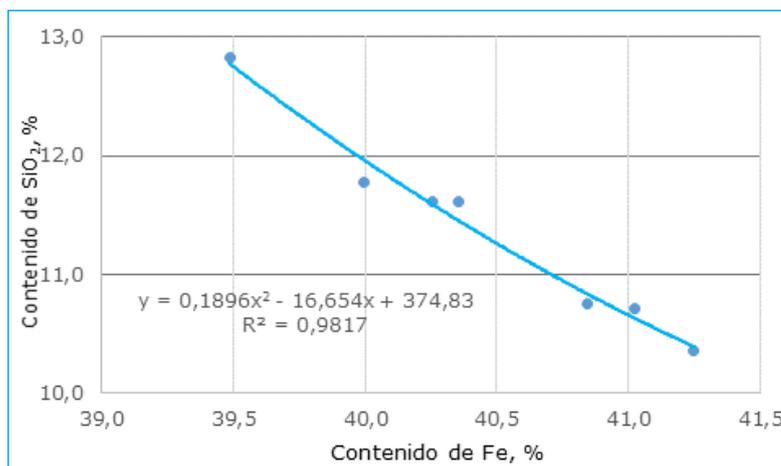


Figura 5: Correlación contenido de Fe & contenido de SiO₂.

Beyris y Falcón (2007) demostraron que la composición mineralógica de las menas lateríticas tiene una incidencia significativa en el comportamiento de la sedimentación de las pulpas. Estableció el criterio de que la presencia de determinadas fases favorece el proceso de sedimentación o lo afecta. Las muestras de buena sedimentación se caracterizan por presentar en las fases minerales secundarias a la magnetita, maghemita y hematita, los cuales le aportan a los minerales lateríticos alta densidad y favorecen el proceso de

sedimentación. Mientras que las muestras de pulpas con mala sedimentación, las fases minerales secundarias que se destacan son la gibbsita, clorita, cuarzo y antigorita, silicatos de aluminio y magnesio de baja densidad, lo cual pudiera ser la causa de la mala sedimentación, provocando la obtención de un producto espesado con baja concentración de sólido.

Al aplicarse la floculación química en la planta de Lixiviación y Lavado debe mejorar la eficiencia de la extracción de los metales valiosos, al lograrse la operación con densidades en valores de 1 650 g/L a 1 750 g/L, de forma estable, por lo que el flujo de licor hacia las etapas posteriores es menor y, en esa misma medida, menor la masa de níquel en solución que se desplaza en sentido contrario al proceso. La operación con un solo sedimentador en la primera etapa, en lugar de los tres que operan actualmente, es beneficioso al proceso, pues disminuye los inventarios pasivos de níquel y amoniaco en solución; reduce el porcentaje de los sólidos en suspensión del licor de recirculación a los tanques de contactos, disminuyendo los ciclos de limpieza de los enfriadores de placas, empleados para el enfriamiento de estos licores.

4. CONCLUSIONES

- El floculante Quimifloc N-30, en dosis de 6 g/t, mostró el mejor resultado al incrementar la densidad de la pulpa hasta 1,665 kg/L y mejorar la clarificación de los licores, disminuyendo los sólidos en suspensión hasta 60 mg/L. El área unitaria es similar a la que alcanza el PICIZ 7010 e inferior a la del AN-910HS.

5. AGRADECIMIENTOS

Al Dr. en Ciencias Técnicas Serapio Morales Márquez y al Ing. Oscar Ganzó Pérez, Especialistas Técnicos, por las experiencias, informaciones técnicas y recomendaciones transmitidas en las evaluaciones de floculantes y tratamiento de sus resultados; al personal técnico del Laboratorio Central de la Empresa "Ernesto Che Guevara", en Moa, por su ayuda en el desarrollo de los experimentos en sus instalaciones; a los profesores del Instituto Superior Minero Metalúrgico por la formación técnico-profesional transmitida durante años de trabajos.

6. REFERENCIAS

ALAVÉS-BOLAÑO, M. 2005: Pruebas de Laboratorio para la primera etapa de Lixiviación con diferentes floculantes. Informe Técnico, Producción, ECG.

- BEYRIS, M. P. & FALCÓN, H. J. 2007: Sedimentación de pulpas minerales lateríticas en la tecnología de lixiviación ácida a presión: incidencia de la composición mineralógica. *Minería y Geología* 23(1).
- CUBILLET, S. M.; CHAVIANO, R. L. & ESPINOSA, E. 1990: Evaluación a escala de laboratorio de la poliacrilamida en forma de gel para pulpas de mineral de la primera etapa de Lixiviación en la Empresa "Ernesto Che Guevara". Informe Técnico, Producción, ECG.
- GARCÍA, P. A. & ROJAS, V. A. 2006: Comparación de los floculantes CHEMADD A-41, 42 Y 43 de la Firma CHEMATEK, el IP-600 de la Firma ZAR CIA y el PERCOL, versión canadiense del MAGNAFLOC R-155. *Tecnología Química* 26(3): 41-47.
- JIMÉNEZ, N. W. 2012: Evaluación del floculante PICIZ 7010 en la operación del SD 109 A. Reporte Técnico. Dirección Técnica, ECG.
- LALANDE, R. & ESPINOSA, E. 1995: Evaluación de muestras de floculante de la firma CIBA para muestras de pulpas lixiviadas de la ECG, Reporte Técnico, Dirección Técnica, ECG.
- LANDRAU, C.; MARTÍN, Y. & ESPINOSA, E. 2001: Evaluación de muestras de floculantes de la firma SNF en la Empresa "Ernesto Che Guevara". Reporte Técnico, Dirección Técnica, ECG.
- MORALES, S.; GANZÓ, O. & ESPINOSA, E. 2000: Evaluaciones a escala de laboratorio de muestras de floculantes para pulpas magnetizadas de la planta de Lixiviación y Lavado de la Empresa "Ernesto Che Guevara". Reporte Técnico, Producción, ECG.
- NICOLINI, D. 2004: Pruebas de Laboratorios con muestras de la primera etapa de Lixiviación, tercera etapa de Lixiviación y última de Lavado. SNF do Brasil Ltda. Informe Técnico. Producción, ECG.
- RIVAS, S. 2012a: Evaluación de nuevos floculantes a escala de Laboratorio. CEDINIQ, Reporte Técnico. Producción, ECG. Agosto 2012.
- RIVAS, S. 2012b: Evaluación de nuevos floculantes a escala de Laboratorio. CEDINIQ, Reporte Técnico, Producción, ECG. Septiembre 2012.

Eluberto Espinosa-Espinosa, eespinosa@ecg.moa.minem.cu
Empresa Productora de Níquel "Ernesto Che Guevara", Moa, Cuba

Pedro E. Beyris-Mazar, pbeyris@ismm.edu.cu
Doctor en Ciencias Técnicas. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba