

Destilación del Licor Producto en la Tecnología Carbonato Amoniacal en Cuba. Síntesis bibliográfica

Distillation of the Product Liquor in the Ammoniacal Carbonate Technology in Cuba. Bibliographic synthesis

Jorge Calsals-Aguilera¹ <https://orcid.org/0000-0001-7959-5171>

Frank Vendrell-Calzadilla¹ <https://orcid.org/0009-0007-2607-4584>

María Elena Magaña-Haynes² <https://orcid.org/0000-0003-2023-8879>

¹Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

²Centro de Investigaciones del Níquel “Alberto Fernández Monte de Oca”, Holguín, Cuba

*Autor para correspondencia. Correo electrónico: vendrell@fiq.uo.edu.cu

RESUMEN

En este trabajo se analizan los parámetros de operación para realizar la destilación del Licor Producto (LP) en el proceso de lixiviación carbonato amoniacal en Cuba, que contribuyen a disminuir la concentración de níquel y amoníaco en los efluentes, así como a mejorar las propiedades químico-físicas del Carbonato Básico de Níquel (CBN). Para ello se realizó una síntesis bibliográfica. Se propuso alimentar el LP con una composición a la mayor relación másica Ni/S de 1,0 a 3,2; en cambio, al mínimo de concentración de azufre de 5,0 a 2,3 g/L y relación NH_3/CO_2 de 2,0 a 1,5. El flujo no debe ser mayor que 60 m³/h, así el tiempo de residencia es propicio para la nucleación y crecimiento de las partículas de CBN. En la suspensión efluente se debe mantener un pH en el intervalo de 8,2 a 8,5, mediante el control de la relación entre flujo de vapor y flujo de LP. Se sugirió evaluar en posteriores investigaciones, la combinación de la alimentación de licor rico en CO_2 por un plato lateral de las columnas y el control por pH, en cuanto al efecto sobre la concentración de níquel disuelto y las propiedades del CBN.

Palabras clave: amoníaco; destilación; níquel; proceso caron.

ABSTRACT

In this work, the operating parameters are analyzed to perform the distillation of Product Liquor (LP) in the ammoniacal carbonate leaching process in Cuba, which contribute to reduce the concentration of nickel and ammonia in the effluents, as well as to improve the chemical-physical properties of Basic Nickel Carbonate (CBN). Thus, a bibliographic synthesis was carried out. It was proposed to feed the LP with a composition at the highest Ni/S mass ratio of 1,0 to 3,2; on the other hand, at the minimum sulfur concentration from 5.0 to 2,3 g/L, and NH₃/CO₂ ratio from 2,0 to 1,5. The flow should not be greater than 60 m³/h, then the residence time is favorable for the nucleation and growth of the CBN particles. In the effluent suspension, a pH must be maintained in the range of 8,2 to 8,5 by controlling the steam flow to LP flow ratio. It was suggested to evaluate in further investigations, the combination of feeding CO₂-rich liquor through a side plate of the columns and the control by pH, regarding the effect on the concentration of dissolved nickel and the properties of CBN.

Keywords: ammonia; distillation; nickel; caron process.

Recibido: 08/05/2024

Aceptado: 15/08/2024

Introducción

En Cuba se realiza el procesamiento de los minerales lateríticos mediante la tecnología de lixiviación carbonato-amoniaca, y se obtiene como producto principal, el óxido de níquel sinterizado.

Las lateritas consisten en una mezcla de oxihidróxido de hierro e hidrosilicatos de magnesio, en cuyo perfil mineralógico el contenido de níquel varía entre 1,5 y 2,5 %; el cobalto, de 0,05 a 0,20 %; y el hierro, entre 15 y 50 %.^(1,2)

La industria cubana del níquel desempeña un papel importante dentro de la economía nacional, con un aporte neto entre las primeras posiciones en las exportaciones de bienes.⁽³⁾ Este trabajo centra su atención en el proceso

de destilación del Licor Producto y obtención del Carbonato Básico de Níquel (CBN) en la empresa productora de níquel en Punta Gorda.

Este trabajo centra su atención en el proceso de destilación del Licor Producto y obtención del Carbonato Básico de Níquel (CBN) en la empresa productora de níquel en Punta Gorda.

Se denomina Licor Producto (LP), al solvente carbonato-amoniaco que es efluente del proceso de lixiviación, enriquecido en compuestos amino-complejos de níquel. Dicha disolución se alimenta a las columnas de destilación, se pone en contacto directo con vapor de agua, los compuestos NH_3 , CO_2 y SO_2 se separan por el tope, mientras que por el fondo se obtiene una suspensión de CBN.

La operación de las columnas es automatizada, básicamente consiste en medir la temperatura en el tope y controlar el flujo de vapor, para un flujo de Licor Producto prefijado. Además, se aplican métodos complementarios para corregir al perfil térmico y obtener en la suspensión efluente la menor concentración de níquel y amoníaco disueltos, los cuales se relacionan a continuación:

El método "Amoníaco en el 5to anillo" consiste determinar la concentración de amoníaco disuelto en el plato de control de la columna, comparar con la norma y adoptar acciones correctivas. Se trata de reducir la formación de compuestos complejos de níquel con ligando NH_3 .⁽⁴⁾

El método "velocidad de sedimentación del CBN" se basa en la dependencia de las características químico-físicas del CBN con la operación de destilación; pero se debe tener en cuenta que en la sedimentación también influyen fenómenos superficiales con fuerte dependencia del pH, la concentración de especies disueltas y las características de la superficie de las partículas.⁽⁵⁾

El método del control de pH se basa en mantener en la suspensión de CBN, a la descarga de las columnas, un rango de pH para disminuir la lixiviación del níquel del CBN, el deterioro de la molécula de CBN y los gastos de operación por pérdidas de amoníaco y consumo de reactivo de precipitación. Se evaluó en las plantas productoras en Nicaro y Punta Gorda.⁽⁶⁾

El amoníaco disuelto en los efluentes constituye una fuente de pérdida y el níquel remanente precipita en un reactor tubular, por lo cual la

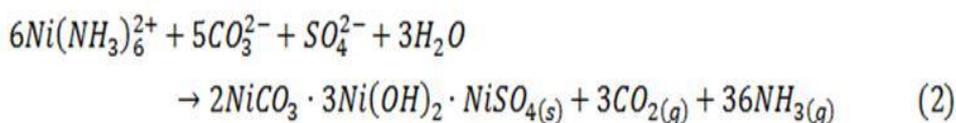
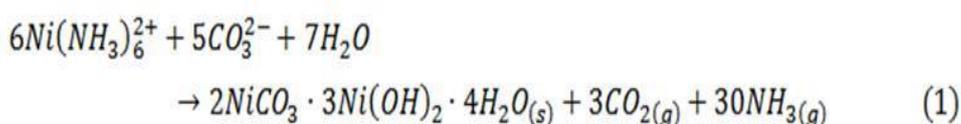
concentración de estos compuestos debe ser mínima para reducir los gastos de operación.^(7,8)

En este trabajo se presenta una revisión y síntesis acerca del proceso de destilación del Licor Producto en la tecnología carbonato amoniacal que contribuya a disminuir la concentración de níquel y amoníaco en el efluente, así como a mejorar las propiedades químico-físicas del Carbonato Básico de Níquel, para ello se realizó la caracterización y el análisis del proceso, con vistas a determinar los niveles de las variables de operación que permitan disminuir la concentración de níquel y amoníaco disueltos en el efluente líquido y a la vez, mejoren las características del Carbonato Básico de Níquel, siguiéndose los siguientes pasos: estructurar la búsqueda, selección, procesamiento, análisis y síntesis de los fundamentos teóricos y resultados experimentales.

Desarrollo

Breve caracterización del proceso de destilación

En las columnas de destilación, al poner en contacto directo a contracorriente el vapor de agua con el Licor Producto, el níquel precipita en forma de Carbonato Básico de Níquel (CBN), mientras que por el tope de la columna se desprenden los gases: $[NH_3]$, $[CO_2]$, $[SO_2]$, (1.1), (1.2).^(10,11)



La suspensión de CBN presenta una concentración al tanto por ciento en peso entre 2,5 y 4,0 %, velocidad de sedimentación entre 3 y 6 m/h, turbidez menor que 20 NTU, color $15 \leq C \leq 100$ Pt/Co, dureza total $60 \leq D_T \leq 115$ mg/L, con características medianamente corrosivas hasta incrustante severa, el tamaño promedio del CBN es de 15,22 μm ($3,0 \leq D_p \leq 45 \mu m$).^(6,11,12)

El Carbonato Básico de Níquel (CBN) se separa del licor por floculación química y sedimentación. El licor claro se alimenta a un reactor tubular para la precipitación del níquel con NH_4HS . La eficiencia de remoción del níquel es superior al 97 %, para un níquel remanente menor que 50 mg/L. ^(7,8)

Operación mediante control del amoníaco en el 5to anillo

El método complementario para el control de la operación de las columnas “Amoníaco en el 5to anillo” se investigó en las plantas productoras de Níquel en Punta Gorda y luego en Nicaro (1942-2012). Consiste en tomar una muestra de la suspensión de CBN en el anillo de control de la columna de destilación (conocido como 5to anillo) y determinar la concentración de amoníaco disuelto. Se compara con el valor normado, el cual depende de la concentración de azufre disuelto en el Licor Producto, y se adoptan las acciones correctivas pertinentes. ⁽⁴⁾

Se denomina anillo de control, al plato de la columna cuya concentración de amoníaco posee alta correlación con el NH_3 y níquel disueltos en la suspensión efluente. Las muestras se toman cada 2 o 4 horas para el control de la operación. Este método que implicó una mejora al proceso, constituye un gasto adicional por análisis químico.

En la suspensión de CBN se encuentran varias especies iónicas en concentración dependiente del pH, debido a las reacciones de hidrólisis del catión $[\text{NH}_4^+]$, la disociación del CO_2 y SO_2 , y a la oxidación del azufre en el proceso de lixiviación a aniones $[\text{S}_x\text{O}_y^{z-}]$; en consecuencia, incrementa el catión níquel (II) en disolución por formación de sales y compuestos complejos (figura 1). ^(6,9,10)

Por otro lado, debido a las incrustaciones en las columnas de destilación por el CBN, hay una reducción del área interfacial entre el Licor Producto y el vapor, entonces el 5to anillo pierde la representatividad de la operación, para cederla a otro plato de la columna. ⁽⁶⁾

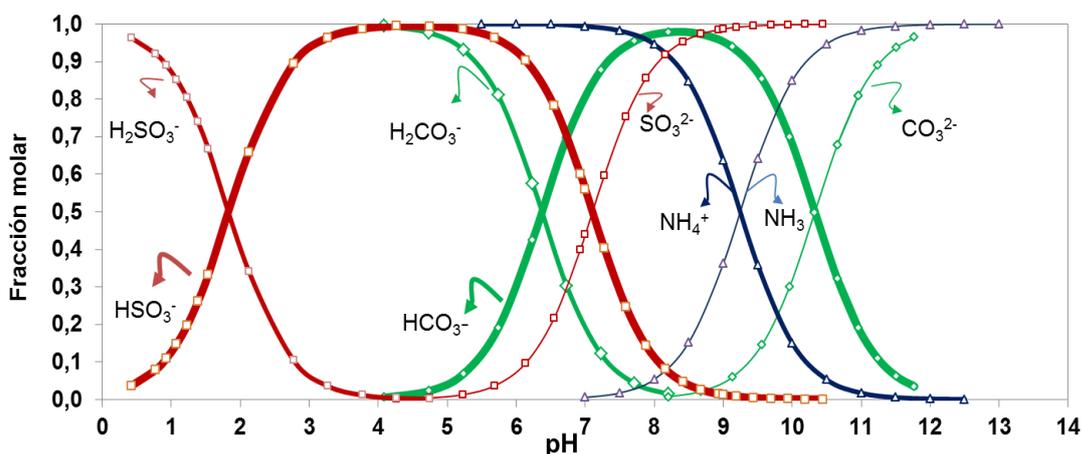


Fig. 1- Especies químicas en disolución sistema $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-SO}_2\text{-H}_2\text{O}^{(10)}$

Operación mediante control de la velocidad de sedimentación del CBN

En las columnas de destilación, se realizaron pruebas de velocidad de sedimentación de la suspensión de CBN. Se demostró experimentalmente que al disminuir el flujo de Licor Producto de los alambiques hasta $60 \text{ m}^3/\text{h}$, incrementó la velocidad de sedimentación por encima de 6 m/h . Se debió al incremento del tiempo de residencia y a la nucleación de las partículas de CBN.⁽⁵⁾

Sin embargo, en la sedimentación influyen fenómenos superficiales con fuerte dependencia del pH, la concentración de especies disueltas y las características de la superficie de las partículas; también, depende de la productividad de las columnas de destilación y la entalpía del vapor sobrecalentado, lo cual incide en la fracción de condensado y la velocidad del reboso, que puede ocasionar turbiedad y arrastre de partículas de CBN.⁽⁶⁾

Operación mediante control del pH de la suspensión efluente

El control complementario de la destilación por pH, consiste en operar las columnas controlando los flujos de licor producto o vapor, de tal forma que la suspensión de CBN cumpla con cierta norma de pH. Esta se obtuvo a partir de optimizar las funciones de concentración de níquel y amoníaco, polinomial y potencial, respectivamente.

La investigación se realizó a escala de laboratorio en una minicolumna de destilación mediante el diseño experimental completo, con las variables flujo de licor y flujo de vapor ⁽¹³⁾. Posteriormente, se realizaron pruebas a escala industrial en las plantas productoras de níquel en Nicaro ⁽¹⁴⁾ y Punta Gorda (figura 2). ^(15,16)

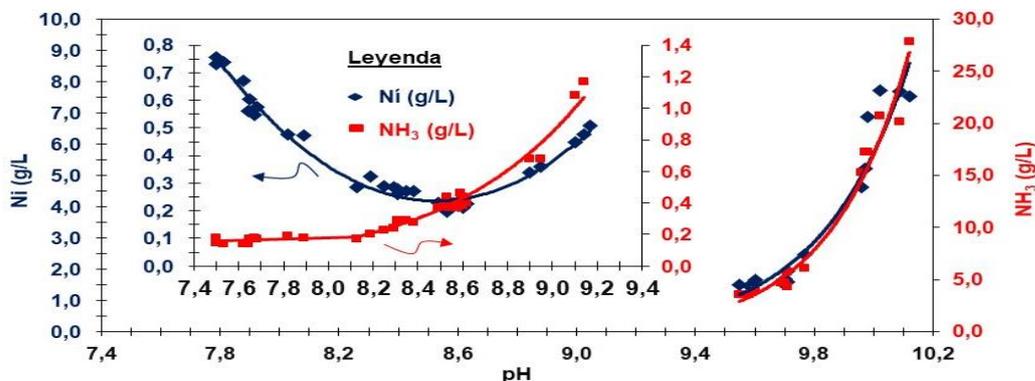


Fig. 2- Concentración de níquel y amoníaco *versus* pH. Evaluación industrial en Punta Gorda. $1,86 \leq \text{NH}_3/\text{CO}_2 \leq 1,89$; $2,72 \leq \text{Ni}/\text{S} \leq 3,16$ ⁽⁶⁾

En Punta Gorda se realizó un muestreo spot, con tamaño de la muestra igual a 124, y se caracterizó el Licor Producto (LP), la suspensión en el anillo de control y en los efluentes. El LP presentó la siguiente composición, según las proporciones: $1,57 \leq \text{NH}_3/\text{CO}_2 \leq 1,94$, $1,88 \leq \text{Ni}/\text{S} \leq 3,98$ y $10,43 \leq \text{CO}_2/\text{S} \leq 16,67$. Como resultado de las investigaciones, se propuso un rango de operación comprendido en el intervalo $8,2 \leq \text{pH} \leq 8,5$, lo cual representó un gasto de $14,14 \text{ CUP} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}$, ahorro de $3,5 \text{ CUP} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}$ (figura 3). ^(6,10,16)

Los autores refirieron que al aumentar razonablemente en el licor producto la relación Ni/S y la carbonatación en cuanto la proporción NH_3/CO_2 en los rangos estudiados, así como implementar el método de operación por pH para controlar el perfil térmico de las columnas de destilación, incrementa la selectividad hacia la formación del $[\text{CO}_3^{2-}]$, disminuye la lixiviación del níquel del CBN; el tamaño promedio de las partículas de CBN es mayor ⁽⁶⁾ y además, beneficia el subsiguiente proceso de calcinación al disminuir el consumo energético para la descomposición del $[\text{SO}_4^{2-}]$ (figura 4). ^(17,18)

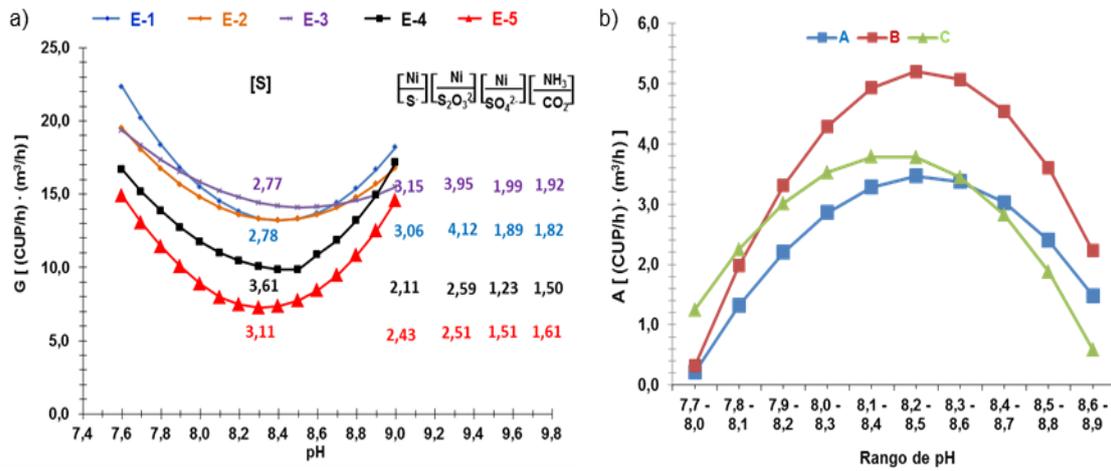


Fig. 3- Dependencia del pH de la suspensión de CBN, Punta Gorda: a) Gastos, b) Ahorro por pérdidas de amoníaco y consumo de reactivo de precipitación de níquel. (E-n: código de las muestras) ⁽⁶⁾

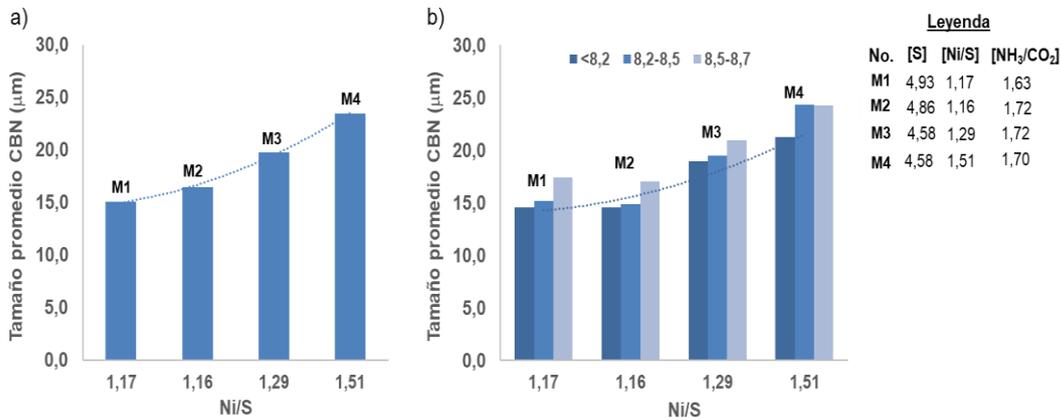


Fig. 4- Tamaño de partícula del CBN *versus* relación Ni/S a $1,63 \leq \text{NH}_3/\text{CO}_2 \leq 1,72$ planta en Nicaro, a) Tamaño promedio b) Tamaño promedio y pH de la suspensión de CBN ⁽⁶⁾

Factores que influyen en la eficiencia de destilación

Concentración del CO₂ en el licor de alimentación

La alimentación de licor rico en CO₂ y NH₃ por un plato lateral de las columnas de destilación se evaluó en planta piloto y luego en la planta de producción en Nicaro, 2001; posteriormente se implementó en Punta Gorda el 2016, y como resultado disminuyó la concentración de níquel disuelto en el efluente. ^(4,20,21)

De acuerdo con estos resultados, se simuló la concentración de Ni (II) disuelto en el sistema Ni(II)-NH₃-CO₃²⁻-S₂O₃²⁻-SO₄²⁻-H₂O; y se obtuvo que a mayor concentración de [CO₂], menor será la concentración del catión

[Ni²⁺], lo que se refleja en la práctica industrial al operar con licores correctamente carbonatados. Esto se debe al decrecimiento del [NH₃] libre y a la formación del CBN cuya molécula posee menos [OH⁻] y [SO₄²⁻].⁽⁹⁾

A partir de muestras de licor tomadas en las plantas productoras en Nicaro y en Punta Gorda, se presentó por regresión no lineal un modelo estadístico y se obtuvo que al disminuir la relación NH₃/CO₂ en el Licor Producto de 2,0 a 1,5, decrece el níquel disuelto en los efluentes de destilación.⁽⁹⁾

El efecto de la concentración de dióxido de carbono en el Licor Producto (LP) sobre las características del CBN, para el sistema Ni-NH₃-CO₃²⁻-H₂O a 100 °C, pH 6,75, Eh 0,5 V y Ni 0,001 mol/L, se representó en el diagrama de pseudo-equilibrio, log[NH₃] versus log[CO₃²⁻]. Este diagrama indicó que el CO₂ debe controlarse en el LP para reducir la precipitación de Ni(OH)₂. La formación del hidróxido es indeseable porque presenta propiedades de secado y disolución inferiores que el CBN.⁽²²⁾

Semejante a estos resultados, se presentó un diagrama de predominio de área a concentración de Ni(II) 0,14 mol/L, [NH₃] 1,2 mol/L, [SO₄²⁻] 0,03 mol/L y 25 °C. Basado en este diagrama, los autores plantearon que, a mayor carbonatación del Licor Producto, el área de estabilidad del NiCO₃ incrementa, mientras que decrece para el Ni(OH)₂; además, se apreció la importancia de controlar el pH para reducir la tendencia a la conversión del NiSO₄, por lo tanto, se disminuye la lixiviación del níquel del CBN y la concentración del metal en los efluentes de destilación.⁽¹⁰⁾

Concentración de azufre en el Licor Producto

El azufre se incorpora al proceso fundamentalmente, por contaminación del mineral durante el secado con los gases de combustión del petróleo, y con el petróleo aditivo suministrado a los hornos de reducción. Este compuesto se debe mantener a la mínima de concentración en el Licor Producto, porque ejerce un papel fundamental en el incremento de la concentración de níquel disuelto; luego, en las columnas de destilación la relación CO₂/S y Ni/S debe ser máxima. Los resultados experimentales se corroboraron mediante simulación, a mayor concentración de aniones (S_xO_y^{Z-}), mayor concentración de níquel disuelto.⁽⁹⁾

Relación entre el flujo de vapor y el flujo de Licor Producto

En la planta en Punta Gorda, se realizaron pruebas en una columna de destilación, para determinar la región óptima de operación del flujo de vapor (FV) respecto al flujo de licor (FL) que potencialmente pueden ser empleados. Se consideró por el lado del FL la influencia del tiempo de residencia (TR) y; por la relación FV/FL, la velocidad específica de cristalización del CBN. ^(23,24)

A concentración de amoníaco en el Licor Producto (LP) entre 80-83 g/L y relación NH_3/CO_2 entre 1,49 y 1,57, se obtuvo una región óptima de la relación FV/FL entre 0,30 y 0,34 t/m^3 LP, tal como una función polinomial cóncava, que se corresponde con los máximos valores de tamaño promedio de partícula. Los valores más favorables se obtuvieron a un flujo de LP de 60 m^3/h . ⁽²⁴⁾

Los mayores valores de velocidad de sedimentación (vs), se correspondieron a la región óptima de FV/FL (0,28 y 0,37) t/m^3 de LP, lo cual está relacionado con un mayor tamaño promedio de las partículas. Al disminuir la concentración de NH_3 en el Licor Producto de 80 g/L a 76 g/L, manteniendo constante el flujo de LP y la relación NH_3/CO_2 , incrementó el tamaño promedio de partícula y la velocidad de sedimentación del CBN en todo el rango FV/FL. ⁽²⁴⁾ Esta concentración de amoníaco es favorable para el proceso previo de lixiviación. ^(25,26)

Estos autores no midieron el pH de la suspensión de CBN; pero este método concibe realizar correcciones al perfil térmico para mantener el pH en el rango propuesto para la operación. A un flujo de licor constante, a valores de pH de sobre-destilación, se debe disminuir el flujo de vapor; en cambio, a pH de sub-destilación, se debe incrementar el flujo de vapor hasta alcanzar la norma propuesta (Figura 3a). ^(9,10,14)

Por último, para posteriores investigaciones se sugiere evaluar la combinación de la alimentación de licor rico en CO_2 por un plato lateral de las columnas y el control por pH; determinar el efecto sobre la concentración de níquel disuelto y las propiedades del CBN en cuanto la composición química y las resistencias a la filtración; así como determinar el plato de alimentación de dicho licor que contribuye a obtener los mejores resultados.

Conclusiones

1. Se determinaron las condiciones más favorables para disminuir la concentración de níquel disuelto en los efluentes de destilación, a partir de contrastar los resultados experimentales a escala de laboratorio e industrial, en las plantas de producción de níquel en Nicaro y Punta Gorda, con la evaluación de modelos estadístico, matemático, termodinámico; y diagramas de predominio de área y de pseudo-equilibrio.
2. La composición del Licor Producto más favorable para disminuir la concentración de níquel en los efluentes se corresponde al mínimo de los intervalos: relación másica amoníaco – dióxido de carbono $1,5 \leq \text{NH}_3/\text{CO}_2 \leq 2,0$ y concentración de azufre $2,3 \leq \text{S} \leq 5,0$ (g/L); y al máximo de la relación níquel - azufre $1,0 \leq \text{Ni/S} \leq 3,2$.
3. El flujo de licor producto que se alimenta a cada columna de destilación no debe ser mayor que $60 \text{ m}^3/\text{h}$, el pH de la suspensión de CBN se debe controlar en el intervalo $8,2 \leq \text{pH} \leq 8,5$, por lo cual se favorece el incremento del tamaño promedio de las partículas, la velocidad de sedimentación; y la selectividad hacia la formación de carbonato mientras que disminuye para el sulfato en la molécula de CBN.

Referencias bibliográficas

1. DALVI, A.D., Gordon, B.W. The Past and the Future of Nickel Laterites. International Convention, Trade Show & Investors Exchange. March 7-10, 2004. Inco Limited, Ontario, Canada.
2. KYLE, J. Nickel laterite processing technologies – where to next? In: Nickel/Cobalt/Copper Conference, ALTA 2010. Perth, Western Australia. <http://researchrepository.murdoch.edu.au/>.
3. MARTÍN, E.A. Recursos naturales no renovables y desarrollo sostenible. El caso de la industria niquelífera cubana. [Universidad de La Habana]. (Tesis Doctoral), 2018.

4. RODRÍGUEZ, C. Aplicación de la inyección de licor de alto NH_3 y CO_2 a los alambiques durante la destilación del *Licor Producto*. Informe Técnico, empresa René Ramos Latour, Nicaro. Cuba. 20p., 2001. [Inédito].
5. MEDRANO, F.I., ESPINOSA, E., et al. Pruebas de velocidad de sedimentación del carbonato en la empresa "Ernesto Che Guevara". Informe técnico. Moa, 2004, 16 p. [Inédito].
6. ROJAS-VARGAS. A. Control de la destilación por pH y posterior remoción del níquel disuelto por electrocoagulación de la tecnología Caron. [Universidad de Oriente, Cuba]. (Tesis Doctoral), 2021.
7. SOSA-MARTÍNEZ, M., RONDÓN-CONTRERA, I., VALENZUELA-AGUILERA, F. Precipitación de sulfuros de níquel a partir del licor efluente del sedimentador de carbonato en la empresa Ernesto Che Guevara. *Tecnología Química*, 2016, **30**(1), 39-49. e-ISSN: 2224-6185. <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2010.1.%x>
8. COLUMBIÉ-LAMORÚ, L. DE LOS ÁNGELES, COLUMBIÉ-NAVARRO, A. O., AGUILERA-ARIAS, Y. (2018). Precipitación de níquel en reactor tubular flujo pistón. *Minería Y Geología*, 2018, **34**(4), 419–436. Recuperado a partir de https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art4_No4_2018
9. ROJAS-VARGAS, A. et al. Ammoniacal Carbonate Leaching: effect of dissolved sulfur in the distillation operation. *Acta Chim. Slov.* 2020, **67**, 1239–1249. e-ISSN: 1580-3155. <https://doi.org/10.17344/acsi.2020.6147>.
10. ROJAS-VARGAS, A. et al. Lixiviación carbonato amoniacal: estimación del níquel disuelto en el efluente de destilación. *Revista de Metalurgia*, 2019, **55**(3). e-ISSN: 2224-6185. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.149>
11. GARCÍA, P. A., ROJAS-VARGAS, A. Comparación de los floculantes CHEMADD A-41, A-42, A-43, IP-600 y el PERCOL. *Tecnología Química*. 2016, **36**(3). 41-47. e-ISSN: 2224-6185.

12. RIVAS-ROMERO, S., et al. Caracterización del efluente del sedimentador de Carbonato de Níquel en la Empresa ECG. *Tecnología Química*. 2016, **36**(2), 145-153. e-ISSN: 2224-6185.
13. ROJAS-VARGAS, A., TRUJILLO, M.E.N. Medición del pH durante la destilación del licor producto del proceso de lixiviación amoniacal. *Tecnología Química*. 2007, **27**(1). 34-40. e-ISSN: 2224-6185.
14. ROJAS-VARGAS, A., TRUJILLO, M.E.N. Medición del pH durante la destilación del *Licor Producto* del proceso Caron (III). *Tecnología Química*. 2012, **32**(2). 177-185. e-ISSN: 2224-6185.
15. MAGAÑA-HAYNES, M.E., ROJAS-VARGAS, A. Rango de pH para destilar el licor de lixiviación carbonato amoniacal. *Tecnología Química*. 2013, **33**(3) 2013. 200-205. e-ISSN: 2224-6185.
16. MAGAÑA-HAYNES, M.E., ROJAS-VARGAS, A. Rango de pH para el control complementario de la destilación carbonato amoniacal en la empresa productora de níquel ECG. 2018. Informe de Proyecto de investigación, Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ), 18 p. [Inédito].
17. ROMERO, M. M. R., LLÓPIZ, J. C. Y. Cinética de la descomposición Térmica del carbonato básico de níquel industrial impurificado. *Minería y Geología*. 1996, **13**(3). 61-67. e-ISSN: 1993-8012.
18. GAINZA, Y.D., MAGANA-HAYNES, M.E., et al. Determinación del índice de consumo de petróleo del horno de calcinación de la empresa ECG. *Tecnología Química*. 2006, **26**(3). 407-416. e-ISSN: 2224-6185.
19. CHANG-CARDONA, A. R., MOLINA-HERNÁNDEZ, R., VEGARAMÍREZ, E., ORTIZ-RIVAS, M. Balance energético del calcinador de carbonato básico de níquel con adición de sulfuro de níquel: consideraciones metodológicas. *Minería Y Geología*, 2003, **19**(3-4), 6. e-ISSN: 1993 8012

20. ROQUE, ANA. Reseña histórica de la industria cubana del níquel. Informe Técnico, empresa René Ramos Latour, Nicaro. Cuba. 150p., 2016. [Inédito].
21. MAGANA-HAYNES, M.E. Evaluación de la adición de licor con alto contenido de NH_3 y CO_2 en el alambique 208 de la empresa ECG. *Tecnología Química*. 2016, **36**(1).27-36. e-ISSN: 2224-6185.
22. OSSEO-ASARE, K., ASIHENE, S.W. Heterogeneous equilibrium in Ammonia Laterite Leaching system. In: Proceedings of International Laterite Symposium, New Orleans, LA, 1979, pp. 19-21.
23. LABORÍ, L., N. Régimen óptimo de operación de los alambiques de licor producto para la cristalización del carbonato básico de níquel. [Universidad de Moa, Cuba]. (Tesis en opción al título de Máster en Metalurgia), 2016.
24. GONZÁLEZ, C. M. Influencia del flujo de licor producto y del vapor específico sobre el tamaño y la velocidad de sedimentación de las partículas de CBN en la pulpa de destilación del licor. [Universidad de Moa]. (Tesis presentada en opción al título de Ingeniería en Metalurgia y Materiales), 2016.
25. CHANG-CARDONA, A.R., et al. La lixiviación del Proceso CARON: síntesis del conocimiento para su perfeccionamiento industrial. Parte 1. *Tecnología Química*. 2009, **29**(1). 98-107. e-ISSN: 2224-6185.
26. CHANG-CARDONA, A.R., et al. La lixiviación del Proceso CARON: síntesis del conocimiento para su perfeccionamiento industrial. Parte 2. *Tecnología Química*. 2009, **29**(2). 96-105. e-ISSN: 2224-6185.

Conflictos de Interés

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Jorge Calsals Aguilera: búsqueda, revisión y participación activa en el análisis de los resultados de la misma.

Frank Vendrell Calzadilla: concepción y diseño metodológico del trabajo

María Elena Magaña Haynes: búsqueda y participación en el análisis de los resultados de la misma.