

Precipitación de níquel en reactor tubular flujo pistón

Precipitation of nickel in a flow piston tubular reactor

Lianis de los Ángeles Columbié-Lamorú¹, Ángel Oscar Columbié-Navarro², Yoander Aguilera-Arias³

¹Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas, La Habana, Cuba.

²Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba.

³Departamento de Informatización del Ministerio de Educación Superior, La Habana. Cuba.

Resumen

El objetivo de la investigación fue determinar la influencia de los principales parámetros (presión, temperatura y concentración de reactivo) en la recuperación del níquel presente en el licor residual del proceso de sedimentación del carbonato de níquel. Este elemento es recuperado aplicando el proceso de precipitación en un reactor tubular flujo pistón a escala de banco, con vista a la disminución de agente precipitante (hidrógenosulfuro de amonio) y a la obtención de la máxima recuperación de níquel en forma de sulfuro. Para la experimentación se empleó el método factorial completo a dos niveles y se obtuvo la ecuación estadística que caracteriza el proceso, mostrando la influencia de las variables independientes, en orden descendente: presión, temperatura y concentración de reactivo. El níquel se recupera en más del 97 %, disminuyendo la carga contaminante al medio ambiente y los cálculos realizados muestran que el tratamiento experimental es técnicamente viable y económicamente factible.

Palabras clave: precipitación de níquel; hidrógenosulfuro de amonio; sulfuro de níquel; reactor tubular.

Abstract

This research was carried out with the objective of determining the influence of the main parameters (pressure, temperature and reagent concentration) on the recovery of the nickel present in the residual liquor

from the nickel carbonate sedimentation process. This element is recovered by applying the precipitation process in a tubular piston flow reactor at bench scale, with a view to the decrease the precipitating agent (ammonium hydrogen sulfide) and to obtain the maximum recovery of nickel in form of sulfide. For the experimentation, the full factorial method at two levels was used and the obtained statistical equation, that characterized the process, shows the influence of the independent variables, in descending order pressure, temperature and reagent concentration. Nickel is recovered over 97 %, reducing the pollutant load to the environment. Calculations show that experimental treatment is technically viable and economically feasible.

Keywords: nickel precipitation; ammonium hydrogen sulfide; nickel sulfide; tube reactor.

1. INTRODUCCIÓN

En la tecnología carbonato amoniacal se generan diversos desechos, entre los cuales se encuentra el licor de reboso del sedimentador de carbonato de níquel, ubicado en la Planta de Calcinación y Sinter de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECG). Este licor, por su contenido de metales disueltos y sólidos, incumple con las normas de vertimiento al medio ambiente, por lo que una de las vías para la recuperación de metales es someterlo al proceso de precipitación de sulfuros (Fajardo 2011).

La disminución de la eficiencia de precipitación en la recuperación del níquel ha sido resultado de varios factores, entre los que se encuentran: el comportamiento del níquel disuelto logrado en la destilación (que no debe exceder de 0,12 g/L), la estabilidad con los agentes precipitantes y, por último, afectaciones en el equipamiento tecnológico. Las desviaciones, en algunos de estos factores, conllevan al incremento de las pérdidas y, por ende, a un impacto negativo sobre el medio ambiente (Martin 2011).

La precipitación de sulfuro se considera un proceso heterogéneo, que consiste en una separación líquido-sólido, con la presencia de más de una fase (Sosa y Garrido 2013). Diversas investigaciones (Garrido *et al.* 2000; Garrido *et al.* 2001; Garrido 2003; Danguillecourt y Serrano 2004; Hernández, Pons y Viera 2005a, 2005b; Sosa 2006; Sosa, Rondón y Valenzuela 2010; Rondón 2011; Nicot, Alfonso y Calzada 2016) han estado enfocadas a la precipitación de sulfuros de níquel y cobalto, utilizando diferentes agentes precipitantes, y a evaluar los diversos parámetros que influyen sobre este proceso.

En el estudio realizado por investigadores del Centro de Investigaciones del Níquel (CEINNIQ 2004) con licor de reboso del sedimentador de carbonato de níquel de la ECG se emplean ambos agentes precipitantes y se evalúan diversas reacciones así como la influencia de la posible redisolución del níquel durante la precipitación. Los análisis para determinar los contenidos en el licor indicaron que el mayor porcentaje de níquel estaba en forma de sulfato y que la agitación influye de forma negativa en la eficiencia pues al incrementar la misma se intensifica el paso de oxígeno al medio líquido. La temperatura influye de forma positiva en el porcentaje de precipitación debido al aumento del movimiento y choque entre las partículas, aunque en este trabajo no se realiza un análisis termodinámico que permita valorar la influencia de la temperatura y no se hace la caracterización del sulfuro precipitado.

Mosqueda, Capote y Menés (2006) obtienen que los mejores resultados de precipitación son alcanzados al emplear NH_4HS , independientemente de los consumos, y es posible obtener elevados valores de precipitación de Ni al emplear 1,2 del consumo estequiométrico. La temperatura influye de forma significativa en la precipitación de níquel disuelto, fundamentalmente al utilizar NaHS , y los mejores resultados se corresponden con el nivel más alto de 95 °C.

Más adelante, Rondón (2011) realiza una investigación a escala de banco para determinar las regularidades cinéticas del proceso de precipitación del níquel, con vista a la disminución de agentes precipitantes y la recuperación a valores máximos de níquel en forma de sulfuro con hidrógenosulfuro de sodio a partir del licor de reboso del sedimentador de carbonato de níquel. Mediante el empleo del diseño de experimento factorial completo a dos niveles se valoró la influencia de la temperatura, nivel de agitación y la concentración de reactivo (hidrógenosulfuro de sodio). Así, obtuvo las ecuaciones termodinámicas, estadísticas y cinéticas que caracterizan el proceso de precipitación y mostró la influencia de las variables independientes, siendo la de mayor influencia la agitación, seguido de la concentración del reactivo y, por último, la temperatura. El níquel se recuperó, en este caso, en más del 98 %, disminuyendo así la carga contaminante al medio ambiente.

Sosa, Rondón y Valenzuela (2010) determinan, a través de los modelos estadísticos para 40 s, 80 s y 120 s, que las variables independientes de mayor influencia en el proceso de precipitación de sulfuro de níquel son la velocidad de agitación y la relación volumétrica licor/agente precipitante.

El estudio del comportamiento de la precipitación de níquel y otros metales de interés económico ha generado muchas investigaciones en busca de soluciones viables y eficientes para la optimización del gasto de reactivos y la disminución hasta valores admisibles de níquel, realizadas en reactores tipo tanque agitado.

Por tal razón, este trabajo se planteó como objetivo determinar la influencia de los principales parámetros que intervienen en la precipitación del níquel presente en el licor de reboso del sedimentador de carbonato de níquel en un reactor tubular flujo pistón

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la experimentación se empleó una muestra compósito de licor clarificado producto del proceso de sedimentación de carbonato de níquel, tomada cada 4 h durante 24 días y con la composición química mostrada en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del licor clarificado (g/L)

Elementos	Ni total	Ni disuelto	Co	Cu	Na	Zn	Mg	Fe	NH ₃
Valores	0,209	0,1210	0,0008	0,0003	0,005	0,007	0,0005	0,0004	1,62

Para el diseño de la matriz de experimentación se utilizó el método factorial completo (Tabla 2) a dos niveles con tres variables, para un total de ocho experimentos con tres réplicas cada uno, las cuales permitieron determinar la influencia de los parámetros de estudio en el proceso. Los rangos se tomaron a partir de investigaciones preliminares realizadas y las experiencias de la industria.

Tabla 2. Variables y niveles de la investigación

Parámetros	Nivel mínimo	Nivel máximo
Temperatura (K)	343	363
Presión de trabajo (kPa)	196	284
Concentración de reactivo (g/L)	85	110

El número de pruebas a realizar se determinó según la fórmula:

$$N = \theta^n$$

Donde: n: cantidad de niveles;

θ : cantidad de factores o variables de estudio;

N: número de pruebas.

La investigación se desarrolló en un reactor tubular flujo pistón a escala de banco, con un diámetro interior de 0,32 m y una longitud de 18 m, como se indica en la Figura 1.



Figura 1. Instalación experimental. 1: reactor tubular flujo pistón a escala de banco, 2: bomba de diafragma, 3: toma muestras, 4: sistema de inyección de reactivo.

Para la toma de muestras se dispuso de cinco niples con mangueras acopladas, una bomba de diafragma para el bombeo de licor, un sistema de inyección para la aplicación de hidrógenosulfuro de amonio y un banco de bombas al vacío para la filtración de cada muestra (Figura 2). El líquido filtrado es enviado al laboratorio y el componente sólido se recoge en un papel de filtro y se conserva.

Los puntos de muestreo se determinaron como se indica en la Tabla 3, según trabajos realizados por otros investigadores (CEINNIQ 2004; Rondón 2011).



Figura 2. Banco de bombas al vacío TELSTAR.

La experimentación se realizó en dos etapas: una parte con trazador y otra con agente precipitante hidrógenosulfuro de amonio. El objetivo principal de la prueba con trazador inyectado puntualmente al reactor flujo pistón es identificar las zonas muertas dentro del modelo diseñado. Esta prueba se realizó con dos fines: identificar zonas pasivas o zonas muertas y corregirlas con la colocación de deflectores.

Tabla 3. Distancia de los puntos de muestreo (m) y tiempo de muestreo (s)

No.	Distancia de los puntos de muestreo	Tiempo de muestreo
1	4	6
2	7	10
3	12	17
4	14	20
5	18	50

Para llevar a cabo la parte experimental con agente precipitante se determinó el consumo de reactivo a emplear, en función de la utilización del mismo en la práctica industrial. Para materializar la investigación se trabajó con el 15 % por encima del estequiométrico, según los valores mostrados en la Tabla 2.

Uno de los principales requisitos para que el reactor tubular se comporte como flujo pistón es que el régimen de flujo sea turbulento, por lo que se trabajó con un número de Reynolds por encima de 4 000, que se obtuvo a partir de la expresión:

$$\Re = \frac{4 \cdot Q \cdot \rho}{\pi \cdot D \cdot \mu}$$

Donde:

Q: flujo, l/min;

ρ : Densidad del flujo (kg/m³);

μ : Viscosidad dinámica (Pa·s);

D: diámetro del reactor (m).

El tiempo de residencia para reactores tubulares se define como:

$$t = \frac{V}{Q}$$

Donde:

V: volumen del reactor (l).

Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente mediante un análisis de regresión y correlación para obtener la ecuación modelo que caracteriza el proceso de precipitación de sulfuro de níquel.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y resultados del comportamiento del trazador en el reactor diseñado

Para evaluar el diseño del reactor tubular flujo pistón se realizaron varias corridas con trazador para los caudales 12 l/min, 6 l/min y 4 l/min. Los resultados obtenidos de la conductividad para las pruebas realizadas con el trazador se muestran en la Figura 3.

Durante el estudio no se observan diferencias en los tiempos de residencia para alcanzar la máxima conductividad, pero sí se evidencia la presencia de zonas muertas o pasivas entre el punto de inyección y el punto 2 de muestreo, haciéndose más evidente este efecto cuando decrece el flujo, o sea, para los flujos 6 l/min y 4 l/min, respectivamente.

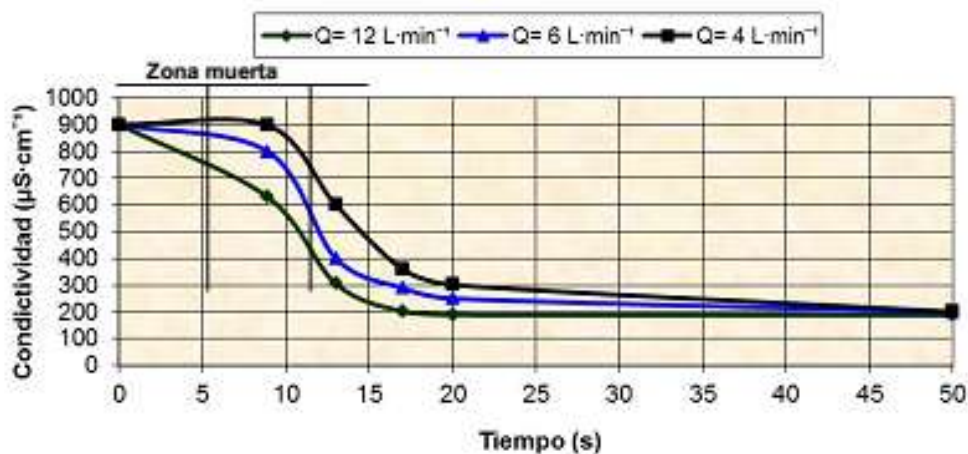


Figura 3. Comportamiento de la conductividad en función del tiempo de residencia en la zona de ingreso del reactor flujo pistón.

De acuerdo con el comportamiento de la conductividad para los tres flujos trabajados se colocan tres deflectores entre el punto de muestreo 1 y el 2, en la posición mostrada en la Figura 4. Con esto se logra una turbulencia desarrollada en la primera parte del reactor con una incidencia en el área de contacto reactivo-níquel presente en el fluido.

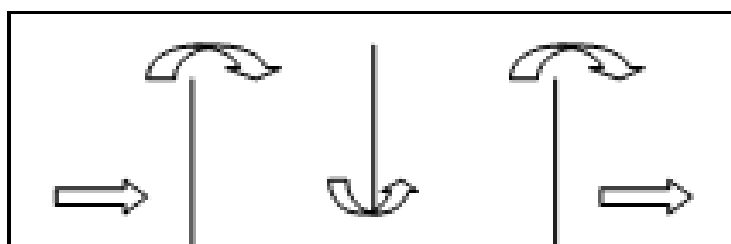


Figura 4. Vista lateral de la posición de los deflectores en el reactor flujo pistón a escala de banco.

Las Figuras 5 y 6 muestran los resultados de la variación de la conductividad de inicio y descarga del reactor. En la Figura 5 aparecen las pruebas hechas con el flujo de 12 l/min y las realizadas con flujo rápido dentro del sistema. Para esta condición de operación se mostró un rápido descenso de la conductividad a partir de los 6 s de operación, con un valor de 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y en la salida del reactor a los 55 s con 189 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

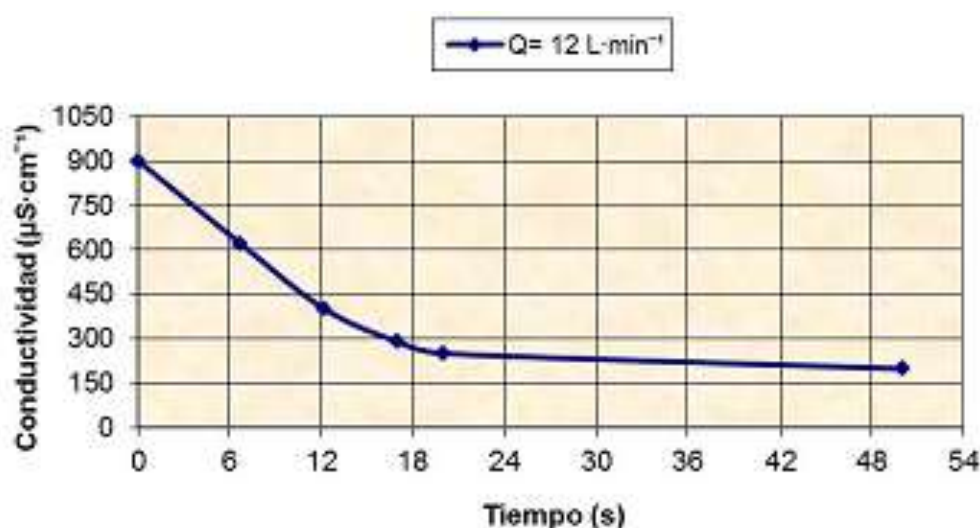


Figura 5. Comportamiento de la conductividad en función del tiempo de residencia en la zona de ingreso del reactor flujo pistón con deflectores entre los puntos 1 y 2 de muestreo para el máximo flujo estudiado.

La Figura 6 expone los resultados de las pruebas realizadas con un flujo de 6 L/min y con flujo de velocidad moderada dentro del sistema. Para esta condición se manifestó un descenso de la conductividad a partir de los 6 s de operación con un valor de 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en la salida del reactor a los 55 s aumentó el valor a 199 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

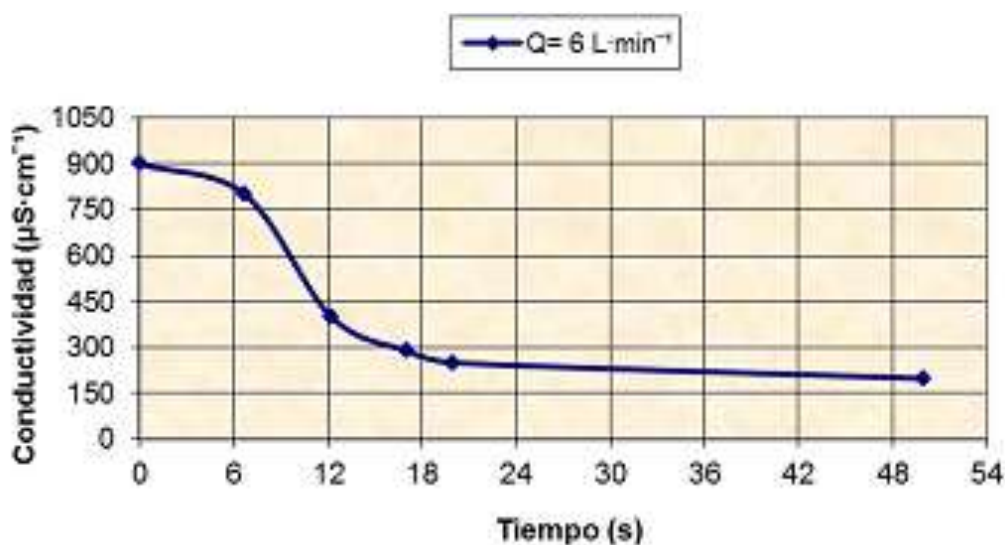
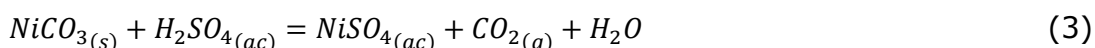
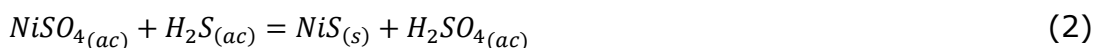


Figura 6. Comportamiento de la conductividad en función del tiempo de residencia en la zona de ingreso del reactor flujo pistón con deflectores entre los puntos 1 y 2 de muestreo para el flujo medio estudiado.

La determinación de la distribución del tiempo de residencia en el reactor tubular flujo pistón, mediante la medición del cambio de conductividad debido a la inyección puntual del trazador, proporciona información sobre el régimen de flujo que se desarrolla en el interior del mismo. La inyección puntual del trazador tiene influencia en la curva de tendencia del reactor y los resultados presentados evidencian que al inicio del sistema se presentan efectos de dispersión en el flujo, principalmente debido a factores de orden macroscópicos como la influencia del perfil de velocidad. A través de los resultados registrados a la salida del sistema se demuestra la existencia de zonas muertas, considerado también como un factor macroscópico de dispersión, por lo cual, los tiempos de residencia de los elementos trazadores se incrementan, especialmente para la circulación de flujos bajos.

3.2. Análisis termodinámico

Las principales transformaciones físico-químicas propuestas por CEINNIQ (2004) para el proceso de precipitación del níquel presente en el licor de rebose del sedimentador de carbonato de níquel, utilizando como agente precipitante el hidrógenosulfuro de amonio, son:



En la Figura 7 se refleja la dependencia del logaritmo de la constante de equilibrio en función del inverso de la temperatura para la reacción 2, que describe la formación del sulfuro de níquel. Se puede observar que el aumento de la temperatura favorece la reacción, pero la constante de equilibrio es muy pequeña, lo que indica que dicho equilibrio no ejerce mucha influencia en la formación de los productos.

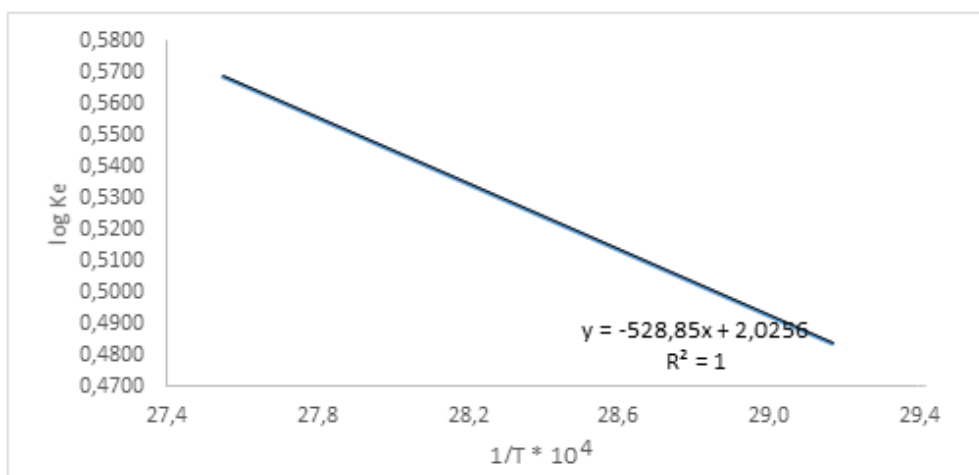


Figura 7. Dependencia de $\log K_e$ con el inverso de la temperatura para la reacción 2.

En la Figura 8 se observa la dependencia del logaritmo de la constante de equilibrio en función del inverso de la temperatura para la reacción 3, transformación de carbonato de níquel con el ácido sulfúrico y redisolución del mismo.

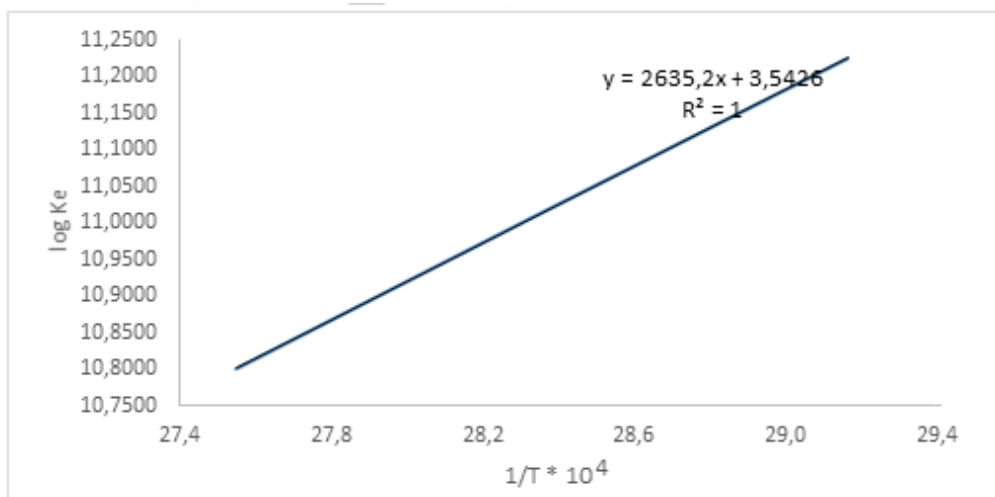


Figura 8. Dependencia de $\log K_e$ con el inverso de la temperatura para la reacción 3.

Se comprueba en la Figura 8 que el incremento de la temperatura provoca una disminución de la constante de equilibrio de esta reacción exotérmica, lo que dificulta la formación de sulfato de níquel, pero no impide su ocurrencia, pues tienen una constante de equilibrio que asegura que se favorezca la reacción en el sentido de la formación de productos, generando energía en forma de calor que beneficia la reacción 2 de formación del sulfuro de níquel.

3.3. Análisis estadístico-matemático

El análisis estadístico matemático se realizó con el fin de analizar la influencia de las variables temperatura, presión y concentración del reactivo en el proceso de precipitación del níquel presente en el licor residual producto de la sedimentación del carbonato de níquel. Este es el encargado de mostrar la correlación entre los parámetros tecnológicos de entrada con relación a la eficiencia del proceso como parámetro de salida.

Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente mediante un análisis de regresión y correlación para obtener el modelo de regresión que caracteriza el proceso de precipitación de níquel que se muestra a continuación:

$$\xi_{NIS} = 96,77 + 0,3362T + 0,733P + 0,0306c - 0,208TP + 0,327Tc - 0,456Pc$$

Existe una influencia significativa de las variables estudiadas sobre la extracción de níquel durante el proceso de precipitación del licor reboso del sedimentador de carbonato de níquel, empleando como agente precipitante el hidrógenosulfuro de amonio. De los coeficientes de correlación de las variables se advierte que el efecto de estas sobre el proceso en orden descendente es el siguiente: presión, temperatura y concentración de hidrógenosulfuro de amonio.

Para el rango de parámetros estudiados se logró una correlación de 0,9993 entre las variables de entrada del proceso y los resultados de extracción del níquel (variable de salida); el valor medio de precipitación fue de 96,77 %.

3.3.1. Influencia de la temperatura sobre el proceso de precipitación

Los resultados del estudio termodinámico y estadístico experimental del proceso de precipitación de níquel, a partir del licor reboso del sedimentador de carbonato con hidrógenosulfuro de amonio como agente precipitante, señala a la temperatura como uno de los factores que influye en la precipitación de níquel positivamente.

En la Figura 9 se muestran las curvas de la influencia de este factor en el proceso. La temperatura tiene una influencia directamente proporcional con respecto a la precipitación.

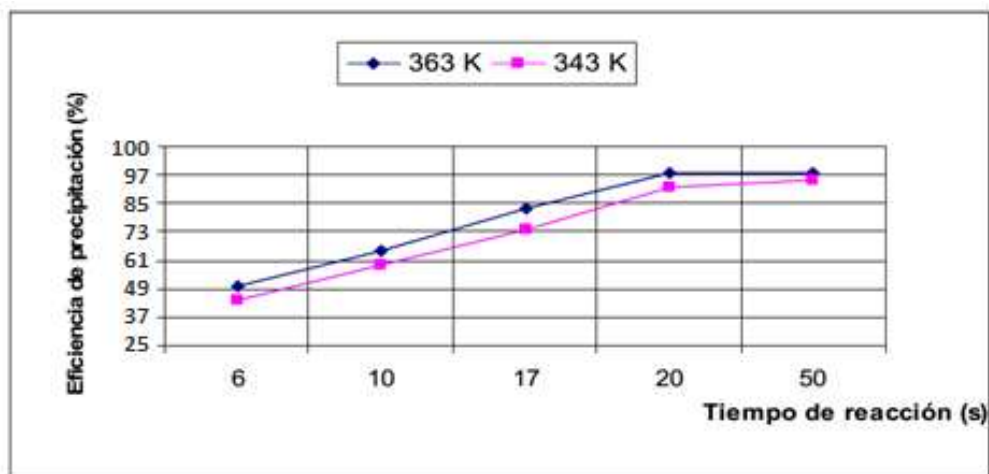


Figura 9. Influencia de la temperatura en la precipitación de níquel.

Como regularidad en las curvas se observa que tanto para la temperatura de 363 K como para 343 K la mayor precipitación se obtiene a los 20 s y a partir de ese tiempo el incremento de la precipitación de níquel es mínima. También se observa una mayor precipitación de níquel a mayor temperatura, lo que indica que existe una influencia directa de este parámetro en la variable de salida y debe ser considerado un parámetro fundamental para el proceso de precipitación de níquel en reactores tubulares flujo pistón a presión.

3.3.2. Influencia de la presión sobre el proceso de precipitación

La Figura 10 exhibe las curvas de la influencia de la presión en la precipitación de níquel. En este caso la precipitación mantuvo valores cercanos a 97,83 % con la presión máxima estudiada (284 kPa), no siendo así con la presión mínima examinada (196 kPa). Como elemento fundamental se puede apreciar que a partir de los 20 s se alcanzan los valores máximos de precipitación para las dos condiciones, aunque para el valor máximo de presión tiende a ser mayor y estable.

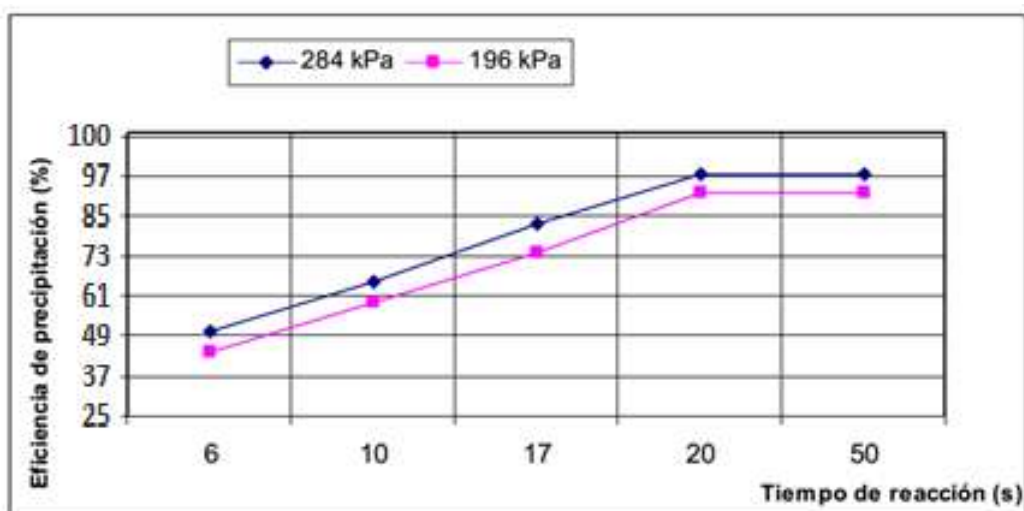


Figura 10. Influencia de la presión en la precipitación de níquel.

3.3.3. Influencia de la concentración del reactivo sobre el proceso de precipitación

La concentración inicial del agente precipitante hidrógenosulfuro de amonio juega un papel importante en la precipitación de níquel presente en el licor reboso de la sedimentación del carbonato de níquel. En la práctica industrial las concentraciones son las mismas que las aplicadas al objeto de investigación y en la Figura 11 se muestran las curvas de influencia de las concentraciones iniciales del reactivo.

Se puede apreciar que la concentración inicial del agente precipitante influye directamente proporcional y de manera positiva en la precipitación de níquel. A pesar de que la diferencia entre los valores de estudio es pequeña, se observa que el aumento de la concentración de 85 g/L a 110 g/L provoca un aumento en la precipitación de 96,58 % a 97,05 %. En las curvas se observa la tendencia a un incremento de la precipitación de níquel hasta los 20 s.

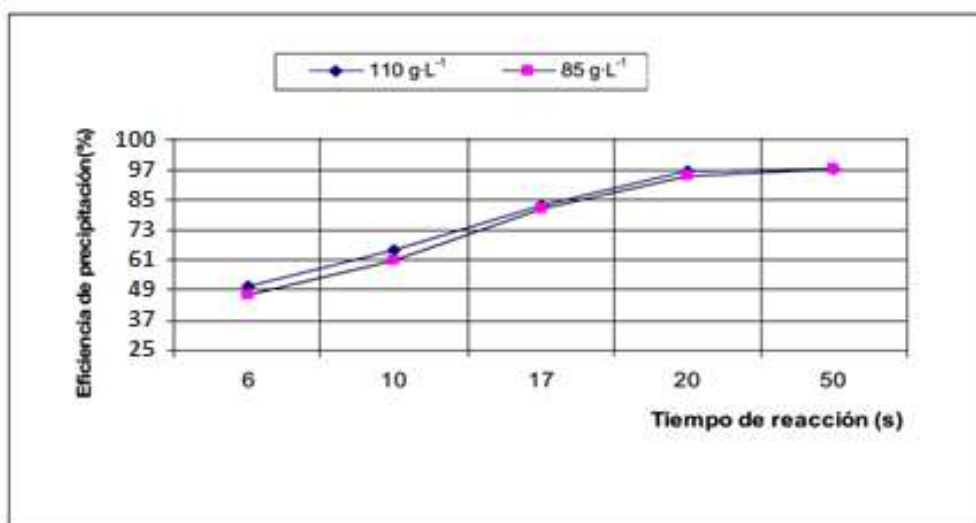


Figura 11. Influencia de la concentración de hidrógenosulfuro de amonio en la precipitación de níquel.

3.4. Comportamiento de la relación entre las variables de estudio y la variable de salida

En las Figuras 12, 13 y 14 se registra el comportamiento de la relación entre las variables de estudio y la precipitación. Los efectos miden la influencia que tiene una combinación de factores en la respuesta y existe interacción cuando el efecto de un factor es diferente a distintos niveles de otro factor.

La Figura 12 señala el comportamiento de la precipitación de níquel con la interacción entre la temperatura y la presión.

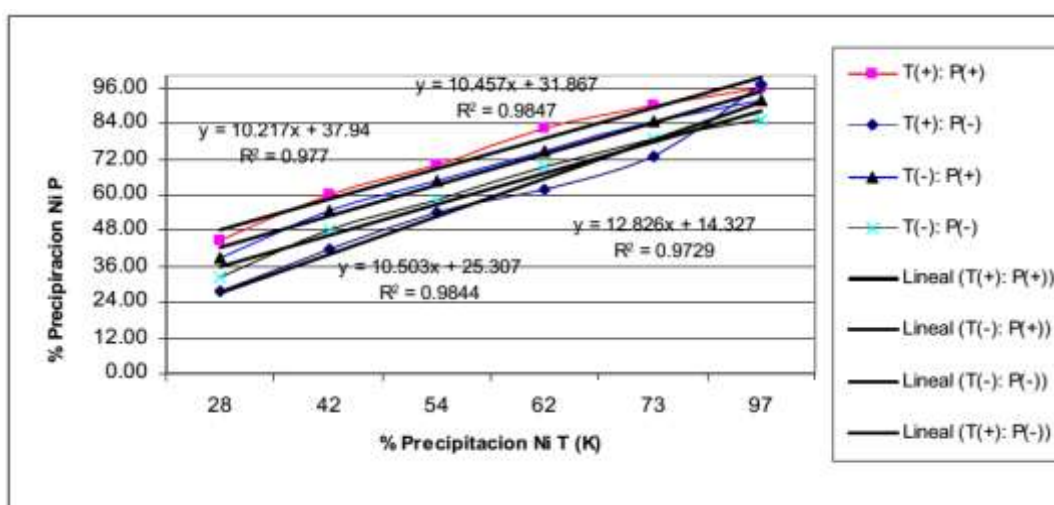


Figura 12. Comportamiento de la precipitación de níquel con la interacción temperatura-presión.

La mayor precipitación se obtiene cuando ambas variables tienen el valor máximo estudiado, lo que indica que la precipitación depende más de la presión, según se evidencia en la pendiente de la curva, la cual es mayor mientras mayor es la temperatura.

La Figura 13 muestra el comportamiento de la precipitación de níquel con la interacción entre la temperatura y la concentración de reactivo. Se observa que la mayor precipitación de níquel se obtiene para los valores máximos de estudio de estas variables y la pendiente de la curva indica que la variable de salida depende más de la temperatura que de la concentración inicial de hidrógenosulfuro de amonio.

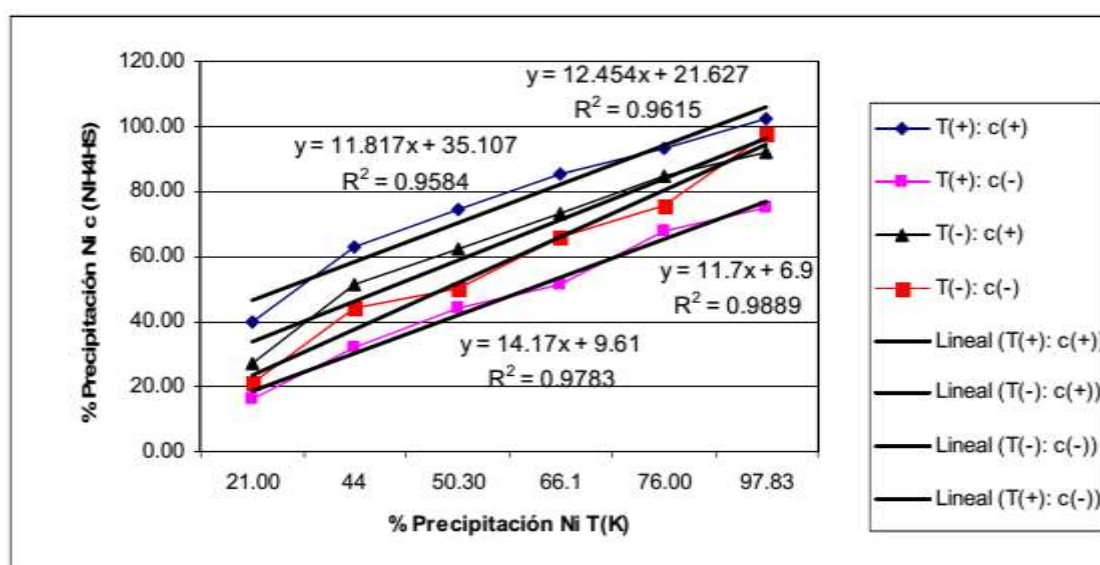


Figura 13. Comportamiento de la precipitación de níquel con la interacción temperatura-concentración.

Según indica la Figura 14, en la interacción de las variables presión y concentración de hidrógenosulfuro de amonio, la mayor precipitación de níquel se obtiene cuando las variables se encuentran en su valor máximo de estudio.

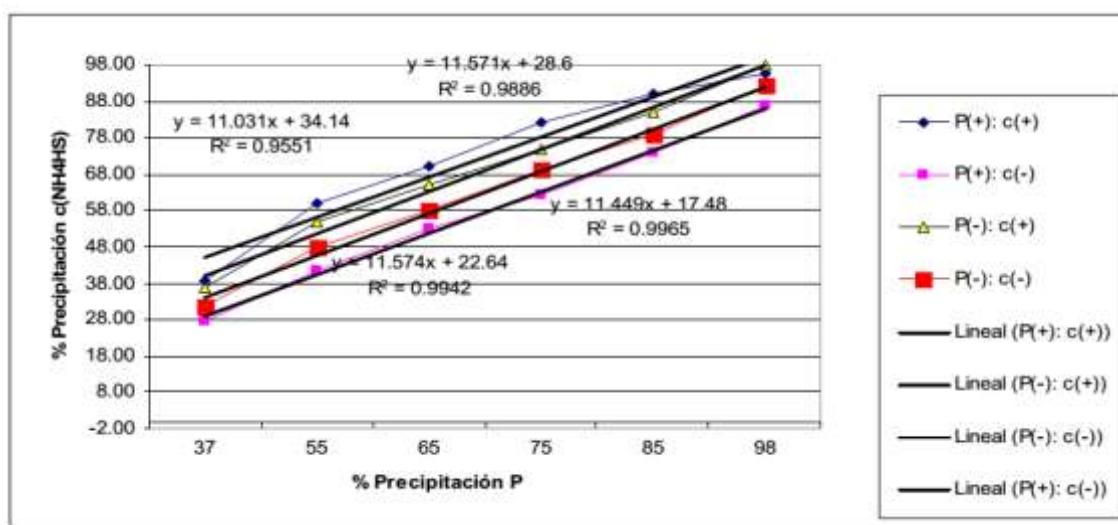


Figura 14. Comportamiento de la precipitación de níquel con la interacción presión-concentración.

3.5. Caracterización del sulfuro de níquel precipitado

La composición química del sulfuro precipitado se determinó empleando los métodos establecidos en la norma 300-01:2001 para análisis químicos, según se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Composición química del sulfuro de níquel precipitado

Elementos metálicos	Ni	Co	Fe	Cu	Zn	Mn	Mg	H ₂ O	NH ₃
Contenido (%)	31,5	0,51	0,24	0,08	0,01	0,30	0,05	5,63	0,51

El principal metal en el sulfuro obtenido es el níquel con 31,5 %, mientras que los demás elementos tienen valores inferiores a 1 %. El alto contenido de níquel se debe a que el licor clarificado es sometido anteriormente a un proceso de precipitación de cobalto donde, conjuntamente con este, precipitan gran parte de los componentes que aún quedan presentes con valores inferiores a 1 %.

La caracterización granulométrica se refleja en la Figura 15, donde se puede apreciar que el tamaño de partículas alcanza valores promedios de 10 μm a 12 μm , aunque los valores pueden llegar hasta 44 μm .

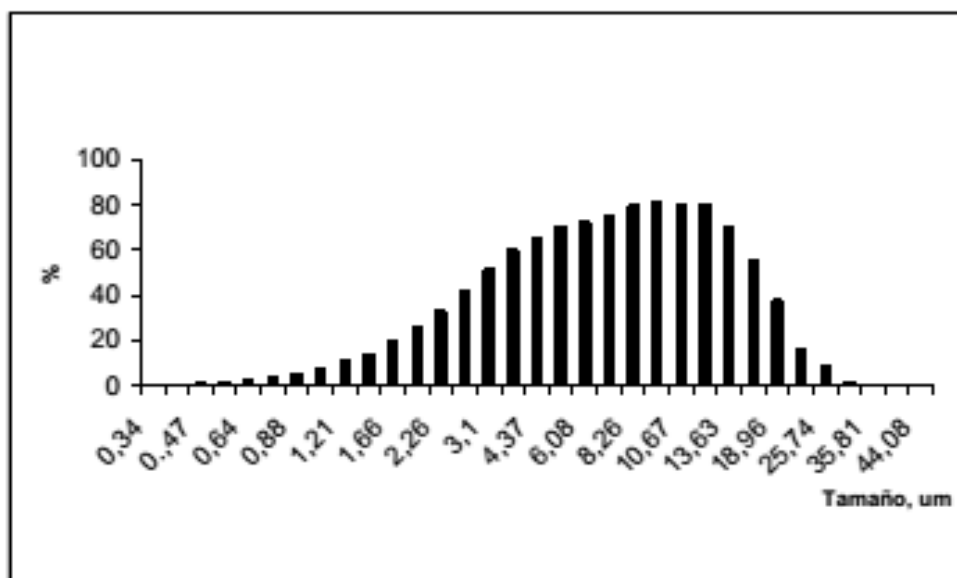


Figura 15. Comportamiento del tamaño de partícula del sulfuro de níquel precipitado.

4. CONCLUSIONES

- El mayor valor de precipitación de níquel (97 %) se alcanzó para los máximos valores de los parámetros estudiados (presión de 284 kPa, temperatura de 363 K y concentración inicial de hidrógenosulfuro de amonio de 110 g/L).
- El modelo estadístico matemático para el proceso de precipitación de sulfuro de níquel disuelto en el licor reboso del sedimentador de carbonato de níquel se adecua al rango de parámetros seleccionados y las variables independientes de mayor influencia son, en orden descendente: presión, temperatura y concentración de hidrógenosulfuro de amonio.

5. REFERENCIAS

- Cuba. Centro de Investigaciones del Níquel (CEINNIQ), 2004: "Estudio de la precipitación de níquel disuelto". Proyecto de progreso.
- Danguillecourt E. y Serrano J. 2004: Evaluación de las condiciones hidrodinámicas en la precipitación del óxido de cobalto (III) hidratado. *Minería y Geología*, 30(3-4): 65-72.
- Fajardo, E. 2011: *Precipitación de níquel en reactor tubular flujo pistón*. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Cuba.
- Garrido, M.; Fernández, E.; Lobaina, O. y Capote, N. 2000: Precipitación de sulfuros a partir de soluciones carbonato amoniacales. *Minería y Geología*, 17(3-4): 61-77.

- Garrido, M.; Fernández, E.; Lobaina, O. y Capote, N. 2001: Precipitación de sulfuros a partir de soluciones carbonato amoniacales sintéticas. *Minería y Geología*, 18(3-4): 113-117.
- Garrido, M. 2003: *Precipitación de sulfuros de cobalto y níquel a partir de soluciones carbonato amoniacales*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Cuba.
- Hernández, C.; Pons, A. y Viera, R. 2005a: Influencia de las variables en el proceso de precipitación del sulfuro de cobalto. Análisis de sensibilidad. *Tecnología Química*, 25(1): 39-42.
- Hernández, C.; Pons, A. y Viera, R. 2005b: Estudio de sensibilidad en el proceso de precipitación del sulfuro de níquel. *Tecnología Química* 25(3): 28-33.
- Martin, H. 2011: *Modelación y simulación del proceso de precipitación de níquel*. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Cuba.
- Mosqueda, A.; Capote, N. y Menés, G. 2006: Estudio de la precipitación de sulfuros del níquel disuelto en la ECG. *Revista Cubana de Química*, 18(1): 41.
- Rondón, I. 2011: *Precipitación del níquel en forma de sulfuro del licor de reboso del sedimentador de carbonato*. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Cuba.
- Sosa, M. 2006: Estudio cinético del proceso de precipitación de los sulfuros de níquel y cobalto con hidrógeno sulfuro de sodio en el licor de desecho (WL). *Minería y Geología*, 22(2): 44-62.
- Sosa, M.; Rondón, I. y Valenzuela, F. 2010: Precipitación de sulfuros a partir de soluciones carbonato amoniacales. *Tecnología Química*, 30(1): 39-49.
- Sosa, M. y Garrido, M. 2013: Precipitación de sulfuros metálicos a partir de licor residual ácido: modelos y ecuaciones cinéticas. *Minería y Geología*, 34(1): 29-41.
- Nicot, Y.; Alfonso, E. y Calzada, L. 2016: Recuperación de níquel a partir de residuales líquidos del proceso carbonato-amoniacoal. *Infomin*, 8(2): 47-60.

Recibido: 27/04/18

Aceptado: 06/07/18

Lianis de los Ángeles Columbié-Lamorú, Master en Ciencias. Especialista para la Ciencia, la Tecnología y el Medio Ambiente. Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas lianis@ciiq.minem.cu