

PRECIPITACIÓN DE SULFUROS DE NÍQUEL A PARTIR DEL LICOR EFLUENTE DEL SEDIMENTADOR DE CARBONATO EN LA EMPRESA ERNESTO CHE GUEVARA

M. Sosa Martínez, I. Rondón Contrera, F. Valenzuela Aguilera
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

La necesidad de determinar los factores de mayor influencia sobre la precipitación de sulfuro de níquel, a partir del licor clarificado efluente del sedimentador de carbonato de níquel existente en la planta de calcinación y sinter de la Empresa Comandante Ernesto Guevara, de Moa, constituye el objeto del trabajo, el cual se realiza a escala de banco utilizando el hidrogenosulfuro de sodio como agente precipitante. El estudio se siguió desde el punto de vista termodinámico a través de un diseño de experimentos factorial completo a dos niveles, se valoró la influencia de la temperatura, velocidad de agitación y consumo de reactivo precipitante sobre el proceso. Los modelos estadísticos matemáticos para los tiempos de 40, 80, y 120 segundos, muestran que las variables independientes de mayor influencia en el proceso de precipitación del sulfuro de níquel, son la velocidad de agitación y la relación volumétrica licor / agente precipitante. Otro resultado alcanzado es el establecimiento de las transformaciones físico - químicas que dan lugar a la precipitación del sulfuro de níquel (II), mostrando valores por encima del 98 % de eficiencia, para la mínima dosificación de reactivo, así como los modelos termodinámicos en función de la temperatura, donde la K_e depende de la naturaleza de la especie precipitada. Desde el punto de vista socio ambiental se logra disminuir el impacto negativo sobre el ecosistema y se demuestra la factibilidad de aplicación de los modelos obtenidos a escala industrial, de acuerdo a los cálculos económicos preliminares realizados.

Palabras clave: sedimentador, carbonato básico de níquel, licor clarificado, sulfuro de níquel, precipitación.

The need to identify the factors most influence on the precipitation of nickel sulfide, clarified liquor from the clarifier effluent existing nickel carbonate in the calcination and sinter plant of the Company Commander Ernesto Guevara. Moa, is the subject of work, which is performed at bench scale using sodium hydrogensulfide as precipitating agent. The study was continued from the thermodynamic point of view through a full factorial experimental design at two levels, we evaluated the influence of temperature, stirring speed and precipitating reagent consumption on the process.

Mathematical statistical models for times of 40, 80, and 120 seconds, shows that the most influential independent variables in the precipitation of nickel sulfide, are stirring speed and the volumetric ratio of liquor / precipitating agent.

Another outcome is the establishment of the physical transformations-chemicals that lead to precipitation of nickel sulfide (II), showing values above 98 % efficiency for a low dosage of reagent, and thermodynamic models based on temperature, where K_e depends on the nature of the species precipitated

From the standpoint of environmental partner is able to diminish the negative impact on the ecosystem and demonstrate the feasibility of application of the models obtained on an industrial scale, according to preliminary economic calculations made.

Key words: sedimentation, basic nickel carbonate, clarified liquor, nickel sulphide, precipitation.

Introducción

La presente investigación está relacionada con el proceso hidrometalúrgico que tiene lugar en la planta existente en la planta de calcinación y sinter de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara de Punta Gorda en Moa.

El proceso de precipitación de sulfuros ha sido objeto de un gran número de investigaciones científicas, encaminadas a determinar la influencia de parámetros tecnológicos en la precipitación de los sulfuros de níquel y cobalto a partir de soluciones carbonato-amoniacaes /1-18/. Los resultados alcanzados demuestran que existe

redisolución del sulfuro de níquel(II) precipitado, además altos niveles de precipitación se corresponden con bajos niveles de consumo de reactivos precipitantes, los análisis químicos indican altos porcentajes de la especie níquel (II) en forma de sulfatos, se reporta una influencia negativa del incremento de la velocidad de agitación sobre la eficiencia de precipitación.

Por otra parte la temperatura influye positivamente en la eficiencia de precipitación, motivada por el incremento del movimiento y choque entre las partículas. También se han ejecutado pruebas integradas de ensemillamiento y precipitación en las que se logran valores de precipitación de sulfuro de níquel (II) superiores al 90 %, sin embargo se reportan valores de tamaño de partículas en el orden de 6 a 12 micrones. En los trabajos realizados con anterioridad no se alcanzan aun los valores de extracción de la especie níquel (II), deseados, a partir del licor producto de la sedimentación del carbonato básico de níquel

(C.B.Ni), por lo cual la presente investigación tiene como objetivo:

- * Determinar la influencia de las variables: temperatura, relación volumétrica y velocidad de agitación, así como establecer los modelos matemático-estadístico y termodinámico que caracterizan el proceso de precipitación con hidrogenosulfuro de sodio de la especie níquel (II) contenidos en el licor clarificado.

Materiales y métodos

Para la realización de este trabajo se empleó licor clarificado tomado a la salida del sedimentador, proveniente de la planta de calcinación y sinter de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, el cual presenta una composición química similar al licor que fluye diariamente. En la tabla 1, se muestran las concentraciones promedios del licor experimental. Como reactivo precipitante se utiliza el hidrogenosulfuro de sodio con una concentración igual a 120 g/L.

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

Ni total	Ni diluido	Co	Cu	Na	Zn	Mg	Fe	NH ₃	pH
0,218	0,105	0,000 6	0,000 2	0,025	0,008	0,000 6	0,000 5	1,55	8,49

Equipos y reactivos utilizados

pH - metro digital marca: CRISON
 Reactor estándar a escala de banco
 Agitador mecánico
 Licor clarificado
 Analizador compacto. marca: Fritsch
 Bomba de vacío. Telstar
 Equipamiento de laboratorio
 Hidrogenosulfuro de sodio (NaHS) P. A.

Parte experimental

Se calcula el consumo de reactivo necesario para la realización de los experimentos. Se utiliza una relación volumétrica licor/reactivo igual a

234, equivalente a 2,3 veces la determinada estequiométricamente, para una concentración de hidrogenosulfuro de sodio de 120 g/L.

Diseño de experimentos

En la tabla 2, se muestra la matriz experimental del diseño factorial completo a dos niveles 19, para un total de ocho experimentos a realizar con dos replicas cada uno.

Las variables independientes son la temperatura (T), la velocidad de agitación (?) y la relación volumétrica licor clarificado /agente precipitante. La variable de salida es la eficiencia de precipitación de níquel total.

Tabla 2
Matriz experimental del diseño factorial completo

Pruebas	T (K)	Agitación η (rpm)	$n(\text{Licor/A.P})$ a 120 g/L
1	365	350	234
2	355	350	234
3	365	250	234
4	355	250	234
5	365	350	325
6	355	350	325
7	365	250	325
8	355	250	325

Descripción de la instalación experimental

Para la realización de estos experimentos se empleó un reactor con agitación a escala de banco. Para la toma de muestras se dispuso de una válvula y una bomba de vacío la cual succiona el licor inmediatamente después de ser extraído, el componente sólido se recoge en un papel de filtro. En la figura 1, se aprecia dicha instalación.

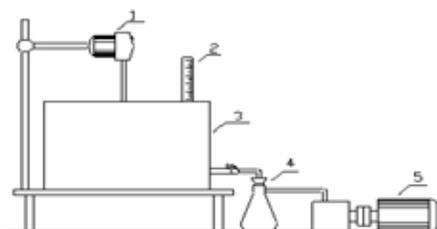


Fig. 1 Instalación experimental.

Leyenda

1. Agitador Mecánico digital
2. Termómetro de laboratorio.
3. Reactor a escala de banco.
4. Equipo de filtración al vacío.
5. Bomba de Vacío

Técnicas de análisis utilizadas

Análisis mineralográfico de tamaño de partículas por el método de reflexión de rayos láser

El análisis se basa en hacer converger un haz de rayos láser sobre las partículas sólidas de

sulfuro de níquel suspendidas en un medio fluido, luego estos se reflejan hacia un detector, brindando la posibilidad para realizar los cálculos de tamaño y distribución de las partículas, mediante los modelos matemáticos según la teoría de Mei y Fraunhofer, basándose en el grado de opacidad descrito por las partículas.

Análisis por espectrofotometría de absorción atómica

El método se basa en lograr la excitación de los electrones de un elemento determinado mediante la acción de una llama de oxígeno y acetileno también llamada llama de oxidación, posteriormente se utiliza una lámpara de cátodo hueco del mismo material que el elemento a analizar. El análisis por espectrofotometría se emplea para determinar las concentraciones de níquel total y níquel disuelto en el licor clarificado, además de la composición de los sulfuros precipitados. De acuerdo a la norma NEIB 300-01:2001 para análisis químicos de sulfuros de níquel y cobalto.

Resultados y discusión

Análisis termodinámico

En la precipitación de sulfuro de níquel (II), que tiene lugar con el licor producto del sedimentador de carbonato, utilizando como

reactivo precipitante el hidrogenosulfuro de sodio, se manifiestan una serie de transformaciones

físico-químicas, estas han sido valoradas en otras investigaciones (CEINNIQ, 2004).

a) El reactivo precipitante primeramente se hidroliza con el agua, mediante la reacción (1):



b) El sulfuro de hidrógeno producto de la disolución en agua reacciona con el sulfato de níquel (II), dando lugar a las reacciones siguientes:



Para la realización del análisis termodinámico se indican las condiciones mediante las cuales ocurre el proceso /20-23/. La temperatura oscila entre 80 y 90 oC, según las condiciones climáticas. Termodinámicamente se demuestra que la temperatura ejerce una influencia positiva sobre la reacción de formación del sulfuro de níquel (II), producto de la reacción de intercambio entre el sulfato de níquel (II), y el sulfuro de hidrógeno. La temperatura no favorece la formación del sulfato de níquel (II), reacción (3), a partir del carbonato de níquel (II) con el ácido sulfúrico producto de la reacción (2). La reacción (3) desprende ener-

gía en forma de calor, el cual es aprovechado por la reacción (2) puesto que es endotérmica, para comprender mejor este comportamiento es necesario remitirse a un gráfico que relacione el Log Ke vs el inverso de la temperatura.

En la figura 2 se muestra la dependencia del logaritmo de la constante de equilibrio con el inverso de temperatura para la reacción (2), donde el níquel (II) disuelto reacciona con el sulfuro de hidrógeno producto de la reacción (1), dando lugar a la reacción endotérmica (2), formándose el sulfuro de níquel (II), y el ácido sulfúrico que participa en la reacción (3).

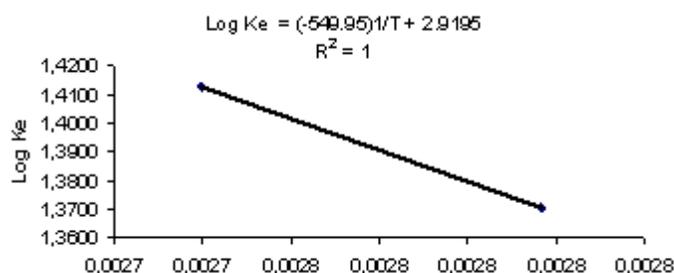


Fig. 2 Dependencia del log de Ke de la reacción II.2 con 1/T el inverso de la temperatura.

En las figuras 2 y 3, se muestra como el aumento de la temperatura favorece las reacciones, pero la constante de equilibrio es muy pequeña, esto indica que dicho equilibrio no ejerce mucha influencia en la formación de los productos para las reacciones de las especies níquel (II) en suspensión con el ácido sulfúrico (3), comprobándose que el incremento de la temperatura provoca una disminución de la

constante de equilibrio, puesto que se trata de reacciones exotérmicas, o sea desde el punto de vista termodinámico, no se favorece la formación del sulfato de níquel (II). El aumento de la temperatura como se explica anteriormente no favorece las reacciones descritas, pero no impide que ocurran, las mismas de acuerdo a los valores alcanzados para las constantes de equilibrio.

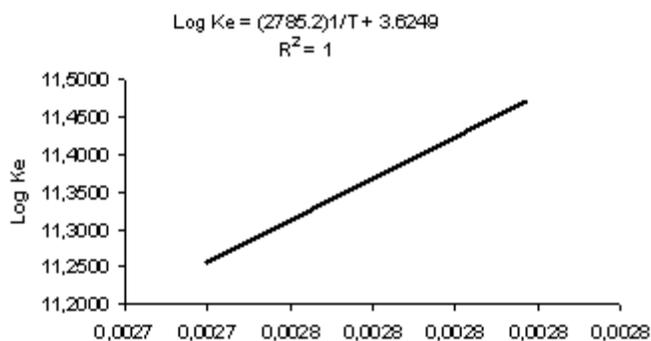


Fig. 3 Dependencia del log de Ke de la reacción II.3 con el inverso de la temperatura.

En la tabla 3, se muestran los resultados termodinámicos calculados según (Perry, H, 1973), determinados para las reacciones 2 y 3.

Tabla 3
Datos termodinámicos

Reacción	ΔG (J/mol)	ΔH (J/mol)	ΔS (J/mol*K)
2	-73 540,0	10 530,0000	55,900 0
3	-672 370,6	-53 328,9622	69,405 8

Análisis de los resultados del proceso de precipitación

Los resultados del proceso de precipitación se consideran satisfactorios ya que se alcanzan valores por encima de 99,82 % de eficiencia, con la utilización de una cantidad mínima de reactivo precipitante, valores que están por encima del promedio de eficiencia alcanzado para los años 2006 y 2007 que oscila alrededor de 95,66 %.

Influencia de la temperatura sobre el proceso de precipitación

Según los resultados alcanzados durante el proceso de precipitación del sulfuro de níquel (II), la temperatura no muestra influencia sobre el proceso en el intervalo entre 355 y 365 K, como se puede apreciar en las figuras 4 y 5, donde se muestra la eficiencia promedio alcanzada, en las tres réplicas efectuadas para las pruebas 1, 2, 7 y 8 respectivamente donde se mantienen invariables: la velocidad de agitación y la relación volumétrica.

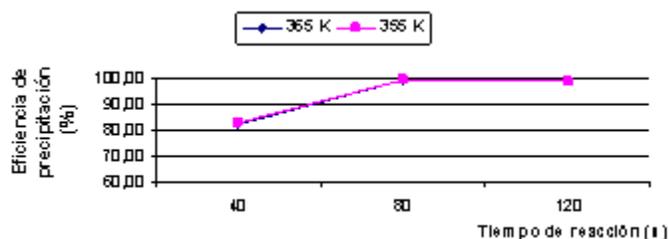


Fig. 4 Influencia de la temperatura sobre la eficiencia de precipitación promedio vs tiempo de reacción para las pruebas 1 y 2.

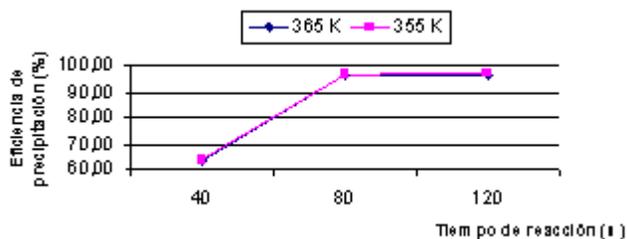


Fig. 5 Influencia de la temperatura sobre la eficiencia de precipitación promedio vs tiempo de reacción para las pruebas 7 y 8.

Como se observa en las figuras la temperatura ejerce una ligera influencia positiva sobre el sistema desde el punto de vista termodinámico, sin embargo experimentalmente esa influencia no se puede apreciar, al menos en el rango estudiado.

Influencia de la agitación sobre el proceso de precipitación

La agitación es el parámetro con mayor influencia en el proceso de precipitación sulfuro de

níquel total. En las figuras 6 y 7, se aprecian los resultados alcanzados para las pruebas 1, 3, 6 y 8 respectivamente.

En las figuras 6 y 7, se observan que los mayores valores de eficiencia en la precipitación se alcanzan para los niveles máximos de velocidad de agitación, debido a la mejor homogenización lograda en estos casos y que evita la posible reacción entre el sulfuro de níquel (II) presente con el agua y el dióxígeno, que da lugar a la redisolución del mismo, formándose sulfato de níquel (II).

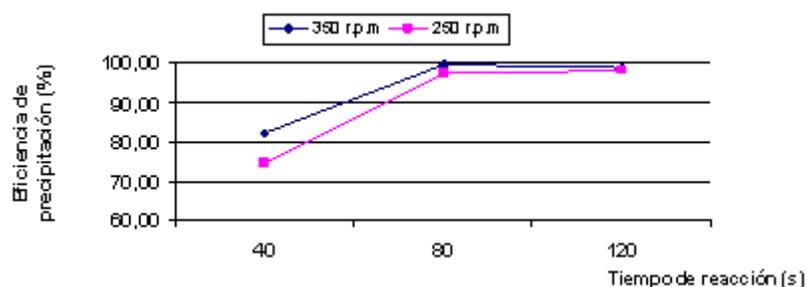


Fig. 6 Influencia de la agitación en la eficiencia de precipitación promedio vs tiempo de reacción para las pruebas 1 y 3.

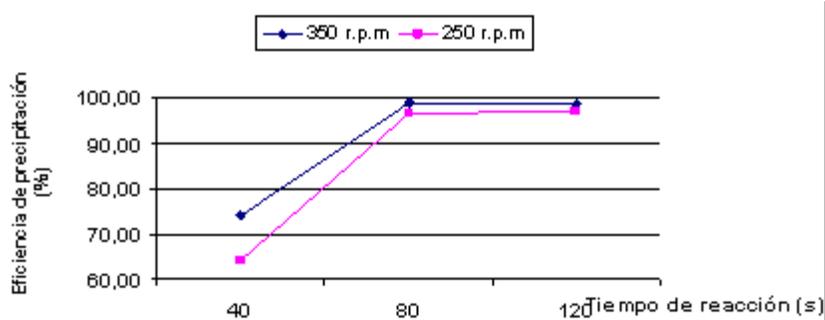


Fig. 7 Influencia de la agitación en la eficiencia de precipitación promedio vs tiempo de reacción para las pruebas 6 y 8.

Influencia de la relación volumétrica

La relación volumétrica es un factor que ejerce influencia sobre el sistema de forma positiva.

En las figuras 8 y 9, se puede apreciar el comportamiento de este parámetro para las pruebas 1, 5, 4 y 8, sobre el sistema. En las pruebas realizadas las condiciones de temperatura y velocidad de agitación permanecen invariables.

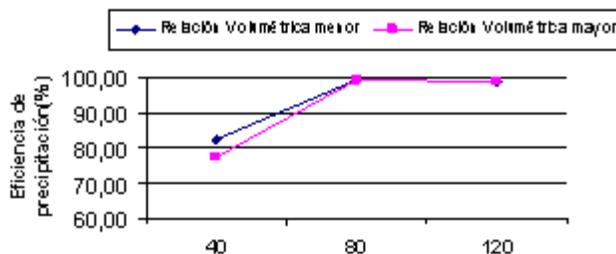


Fig. 8 Influencia de la relación volumétrica en la eficiencia de precipitación promedio vs tiempo de reacción para las pruebas 1 y 5.

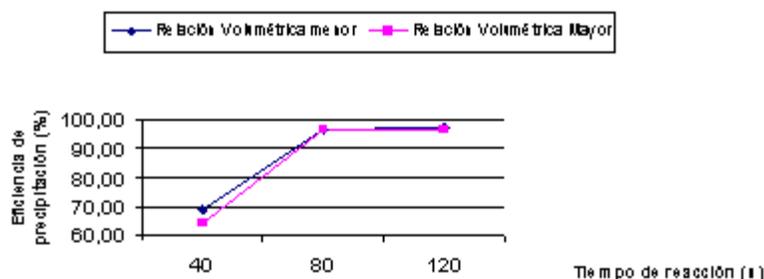


Fig. 9 Influencia de la relación volumétrica en la eficiencia de precipitación promedio vs tiempo de reacción para las pruebas 4 y 8.

La prueba 1 es la que arroja los mejores resultados, en la réplica 2, con el mayor porcentaje de precipitación y la mayor cantidad de reactivo precipitante consumido, con un valor de 99,96 %, sin embargo la prueba 4, para una menor cantidad de reactivo precipitante y mayor velocidad de agitación alcanza el valor de 99,82 %, la diferencia entre estos dos valores es despreciable.

Este comportamiento se relaciona con otras investigaciones, 25 donde se reporta que los mayores valores de precipitación fueron alcanzados para menores valores de consumo de reactivo precipitante.

La disminución del consumo de reactivo precipitante suministrado al sistema se comportó positivamente en la práctica, pues en pruebas preliminares realizadas se demostró la posibilidad de mantener la eficiencia, o incrementarla, como posteriormente se demostró, basado en que la eficiencia promedio para los años 2006 y 2007 es de 95,66 %, cuando se suministraba un flujo de reactivo de 40 L/min, que equivale a una relación volumétrica igual a 146. El flujo de reactivo precipitante hidrogenosulfuro de sodio suministrado se disminuyó hasta valores de 25 L/min, que

equivale a una relación de 325 y la eficiencia experimentó un ligero incremento.

Relación níquel en suspensión/níquel disuelto

La relación níquel en suspensión /níquel disuelto obtenida durante la realización de las pruebas, se muestra en la figura 10, la que indica que la mayor concentración de níquel se encuentra en forma de carbonato de níquel (II), inicialmente. Además se puede apreciar el incremento de esta relación a los 40 segundos de iniciado el proceso, esto indica que primeramente reacciona el níquel (II) disuelto, en forma de sulfato de níquel (II), por el cual aumenta la relación níquel (II) en suspensión/níquel disuelto, a los 80 segundos se observa una disminución de dicha relación, es decir, para este tiempo todo el níquel (II) en forma de sulfato ha reaccionado y al mismo tiempo el carbonato de níquel (II), se disuelve, por lo que disminuye el contenido de este y aumenta la concentración de níquel (II) disuelto, manteniéndose este comportamiento hasta los 120 s.

La figura 10, es el resultado de promediar todos los valores de concentraciones, en los tiempos estudiados.

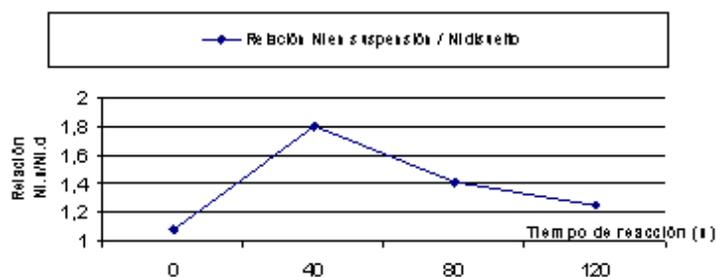


Fig. 10 Relación níquel (III) en suspensión/níquel (II) disuelto promedio en el licor experimental.

En la figura 11, se muestra la relación níquel (II) en suspensión / níquel (II) disuelto inicial y final, para un tiempo de aproximadamente dos horas que dura el proceso. Los valores de concentración utilizados son el resultado de promediar la relación níquel (II)

en suspensión / níquel (II) disuelto diaria para los años 2006 y 2007. La figura 11, indica que históricamente el contenido de carbonato de níquel (II) en el licor residual ha sido tres veces mayor que el de sulfato de níquel (II).

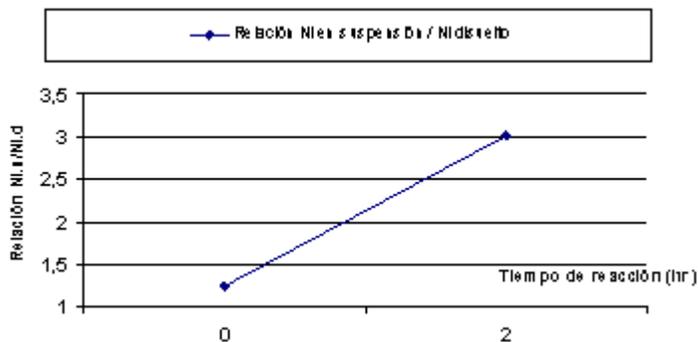


Fig. 11 Relación níquel en suspensión/níquel disuelto en el licor industrial promedio para los años 2006-2007.

Caracterización del sulfuro precipitado

La caracterización química brinda información acerca de la composición del sulfuro de níquel (II) precipitado, mostrando el contenido de cada elemento en unidades de porcentaje. Estas determinaciones se realizaron por los métodos establecidos según la norma: NEIB 300-01: 2001,

para análisis químicos. Los resultados referentes a la composición química no son semejantes a otras investigaciones, debido a que este sulfuro de níquel (II) es producto del licor de reboso del sedimentador de carbonato, parte del proceso donde no se han realizado investigaciones concluyentes con anterioridad. Los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4
Composición química del sulfuro de níquel (II)

Elementos metálicos	Contenido (%)	Elementos metálicos	Contenido (%)
Ni	33,41	Mn	0,29
Co	0,53	H ₂ O	4,85
Fe	0,26	NH ₃	0,53
Cu	0,09	Mg	0,09
Zn	0,03		

La caracterización química del sulfuro de níquel (II) permite arribar a las conclusiones siguientes:

El principal metal componente del sulfuro obtenido es el níquel (II), mientras el resto alcanzan valores inferiores al 1 %.

El alto contenido de níquel (II), se debe a que el licor clarificado ya ha sido sometido a un proceso selectivo de precipitación de cobalto(II), donde conjuntamente con este precipitan gran parte de los componentes que aún quedan presentes con valores inferiores al 1 %.

La caracterización granulométrica se referencia en la figura 12, donde se muestra el tamaño de partículas:

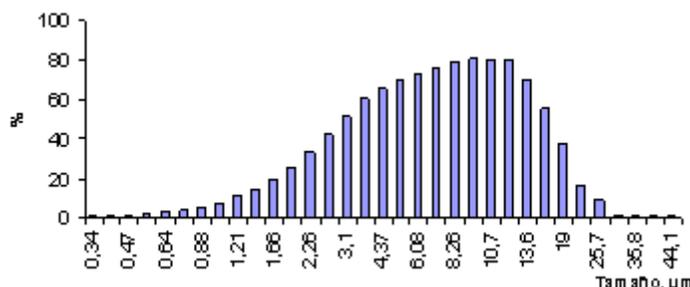


Fig. 12 Tamaño de partículas promedio en función del porcentaje que representa.

En la figura 12, se puede apreciar que el tamaño de partículas alcanza valores promedio de 10 a 12 micrones, aunque los valores pueden llegar hasta 44 micrones. También se puede caracterizar en función de otros parámetros que fueron determinados y no están disponibles en otras bibliografías, tales como: el área de la superficie específica: $13778,51 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$, diámetro armónico promedio 4,355 micrones, diámetro cuadrático 9,601 micrones y el diámetro aritmético 7,927 micrones.

Aunque no se realizaron análisis para determinar las fases minerales en el sulfuro tales como el Heazlewoodite (Ni_3S_2), Polydimita (Ni_3S_4) o Millerita (NiS), los datos brindados pueden resultar muy útiles ya que resultan novedosos sus valores.

Los modelos estadísticos matemáticos obtenidos para los tiempos 40, 80, y 120 s en el proceso de precipitación muestran que las variables independientes de mayor influencia en el proceso de precipitación del sulfuro de níquel (II) son la velocidad de agitación y la relación volumétrica licor/agente precipitante.

$$\text{a) \% P(Ni)} = 73,532 + 1,080(\text{T}) + 5,725(\text{A}) + 3,677(\text{L:R}) - 0,300(\text{T})(\text{A}) + 0,346(\text{T})(\text{L:R}) - 0,281(\text{A})(\text{L:R}) - 1,332(\text{T})(\text{A})(\text{L:R})$$

$$\text{b) \% P(Ni)} = 98,134 + 0,074(\text{T}) + 1,304(\text{A}) + 0,204(\text{L:R}) + 0,043(\text{T})(\text{A}) + 0,032(\text{T})(\text{L:R}) - 0,035(\text{A})(\text{L:R}) - 0,211(\text{T})(\text{A})(\text{L:R})$$

$$\text{c) \% P(Ni)} = 98,149 + 0,094(\text{T}) + 0,825(\text{A}) + 0,182(\text{L:R}) + 0,028(\text{T})(\text{A}) + 0,030(\text{T})(\text{L:R}) - 0,188(\text{A})(\text{L:R}) - 0,158(\text{T})(\text{A})(\text{L:R})$$

Conclusiones

- Se determinaron las transformaciones físico-químicas que dan lugar a la precipitación del sulfuro de níquel (II).
- Los modelos estadísticos matemáticos para los tiempos de 40, 80, y 120 s en el proceso de precipitación muestran que las variables independientes de mayor influencia en el proceso de precipitación del sulfuro de níquel (II) son la velocidad de agitación y la relación volumétrica licor/agente precipitante.
- Se establecieron los modelos termodinámicos que describen el proceso de precipitación de

sulfuro de níquel (II) en función de la temperatura, donde la Ke depende de la naturaleza de la especie precipitada.

- Desde el punto de vista socio ambiental con la disminución de la dosificación de reactivo precipitante disminuyen los daños al ecosistema, además disminuyen las afectaciones en las estructuras metálicas de las instalaciones y equipos automáticos de control de

Bibliografía

1. Fernández P, "Estudio de factibilidad sobre refinación de los sulfuros de Ni + Co utilizando la

-
- tecnología Slovaca de Sered”, ECRRL, Informe Técnico, 1992.
2. Hernández Pérez. R y Roque Rodríguez. A, “Recuperación de níquel de los efluentes de la destilación con sulfuro de sodio”, ECRRL, Informe Técnico, 1986.
 3. Hernández Pérez. R, “Valoración económica del proyecto de recuperación de níquel disuelto en los efluentes de la destilación”, ECRRL, Informe Técnico, 1992.
 4. Hernández Pérez. R, “Proyecto para la modernización de la instalación de recuperación del níquel disuelto en los efluentes de la destilación del licor producto”, ECRRL, Informe Técnico, 1996.
 5. Lissabet. G, “Recuperación del níquel disuelto” ECRRL, Informe Técnico, 1995.
 6. Capote Flores. N, “Caracterización del proceso de precipitación-oxidación de sulfuros mixtos obtenidos a partir de licores carbonato amoniacales”, Tesis de Maestría, Universidad de Oriente, 1996.
 7. Avila Navarro. L. “Estudio preliminar de la oxidación y disolución de sulfatos de Ni y Co”, Informe técnico, ISMM, 1997.
 8. Ménes Vuelta. G, “Separación de níquel y cobalto por el método de formación de sulfuros en las soluciones amoniacales”, Informe técnico, ISMM, 1998.
 9. Viera V, R; R Suárez, A y Fiffe M, L, “Análisis del proceso de precipitación selectivo de cobalto en medio amoniacal”, Centro de investigaciones de la laterita”, Informe técnico, 1998.
 10. Aguilera Dall. M. “Precipitación de sulfuros a partir de soluciones Carbonato amoniacal”, Informe técnico, ISMM, 2000.
 11. Garrido Rodríguez, M; Fernández M, E y Otros, “Precipitación de sulfuros a partir de soluciones carbonato-amoniacaes”, Minería y Geología. vol.XVII. núm. 3 y 4. 2000.61-77.
 12. Garrido Rodriguez, M, “Precipitación de sulfuros de cobalto y níquel a partir de soluciones carbonato amoniacales” Tesis de Doctorado, ISMM, 2003.
 13. González Conte, E, “Precipitación de sulfuros (Níquel y cobalto) a partir de soluciones sintéticas”, Informe técnico, ISMM, 2000.
 14. Castañeda D, “Obtención de carbonatos e hidróxido de alta pureza” Centro de investigaciones de la laterita”, Informe de progreso, 2001.
 15. Rondón Contrera. I, “Evaluación de las condiciones hidrodinámicas en la precipitación del óxido de cobalto(III) hidratado”, Informe técnico, ISMM, 2001.
 16. Coello Mariño, N, “Influencia de la aireación en la precipitación selectiva del cobalto”, Informe técnico, ISMM, 2001.
 17. Santana Milanés, Y y López Molina, Y, “Estudio de circuito de ensemillamiento de Cobalto en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara”, Informe técnico, ISMM, 2002.
 18. Mosqueda M, A, “Estudio de la precipitación del níquel disuelto con recirculación del sulfuro de níquel como semilla”, “Centro del níquel”, Reporte técnico, 2005.
 19. Mitrofanov, S. I; Barski, L. A y Samygin, V. D: Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales, Ed. Mir, Moscú, 1982.
 20. Sushokov, V : Termodinámica Técnica. Ed. Mir, Moscú, 1971. pág. 415.
 21. Guerasimov, J et. al. Curso de química física. Tomo I. Editorial Mir. Moscú. 1971.
 22. Matos Tamayo, R y Hing Cortón R: Aspectos fundamentales de la química física, Tomo II. Ed. Pueblo y Educación. La Habana, 1988. pág. 343.
 23. Sosa Martínez, M, “Regularidades físico químicas en la recuperación de las principales especies metálicas del licor residual de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba, Moa Nickel. S.A”, Tesis de Doctorado, ISMM, 2006.
 24. Cuba, CEINNIQ, “Estudio de la precipitación de Níquel disuelto”, 2004.