

Precipitación química de Ni(OH)₂ del licor producto de lixiviación en la Tecnología Caron

Chemical precipitation of Ni(OH)₂ from the product-liquor in the
Caron Technology

Lilian Vidiaux-Arcia^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-0515-9662>

Luis Ángel García-Frómeta² <https://orcid.org/0000-0002-0361-5794>

Deisy Cisneros-Sánchez¹ <https://orcid.org/0000-0001-8664-842X>

¹Centro de Investigaciones del Níquel, Moa, Holguín, Cuba

²Cuba Ron Ronera, Santiago de Cuba, Cuba

*Autor para la correspondencia: lvidiaux@cil.moa.minem.cu

RESUMEN

Se realizaron pruebas a escala de laboratorio con el objetivo de evaluar la precipitación química de hidróxido de níquel(II), a partir del licor producto del proceso de lixiviación carbonato amoniacal, luego de la separación de cobalto, procedente de la empresa productora de níquel Ernesto Che Guevara, Cuba. El procedimiento consistió en la pre-destilación del licor y la posterior precipitación del níquel con hidróxido de sodio. Como resultado, se acondicionó el licor de síntesis hasta una concentración de amoníaco de 29,91 g/L, níquel 8,92 g/L y magnesio 0,136 g/L, con la presencia de trazas de manganeso, cobalto, hierro, cobre y cinc. El pH y el tiempo de reacción ejercieron una influencia estadísticamente significativa sobre la precipitación del Ni(OH)₂. Se determinó que la máxima eficiencia de precipitación de níquel de un 92,41 % se alcanza a un pH 13,5, tiempo de residencia 1 h y consumo específico de 5,25 g NaOH por g Ni(OH)₂. El precipitado presentó una concentración de níquel de 60,13 (+/-2,10) % y 0,70 % de impurezas metálicas.

Palabras clave: hidróxido de níquel; licor producto; precipitación.

ABSTRACT

Laboratory scale tests were carried out with the objective of evaluating the chemical precipitation of nickel (II) hydroxide, from the liquor product of the ammoniacal carbonate leaching process, after the separation of cobalt, from the nickel producer company Ernesto Che Guevara, Cuba. The procedure consisted of the pre-distillation of the liquor and the subsequent precipitation of the nickel with sodium hydroxide. As a result, the synthesis liquor was conditioned up to a concentration of ammonia of 29,91 g/L, nickel 8,92 g/L and magnesium 0,136 g/L, with the presence of traces of manganese, cobalt, iron, copper and zinc. The pH and the reaction time exerted a statistically significant influence on the Ni(OH)₂ precipitation. It was determined that the maximum nickel precipitation efficiency of 92,41 % is reached at pH 13,5, residence time 1 h and specific consumption of 5,25 g NaOH per g Ni(OH)₂. The precipitate presented a nickel concentration of 60,13 (+/-2,10) % and 0,70 % of metallic impurities.

Keywords: nickel hydroxide; product liquor; precipitation.

Recibido: 10/05/2023

Aceptado: 18/08/2023

Introducción

La demanda de hidróxido de níquel(II) como precursor del óxido para baterías recargables es cada vez mayor, debido al incremento del uso de vehículos eléctricos e híbridos que reducen el consumo de combustible fósil y la emisión de gases perjudiciales al medio ambiente.^(1,2,3)

Este hidróxido, además se emplea en la producción de las baterías que se utilizan en los teléfonos inalámbricos y computadoras portátiles. En su forma hidratada se emplea comúnmente en la producción de sales y óxidos de níquel.^(4,5,6,7)

El hidróxido de níquel (II), $\text{Ni}(\text{OH})_2$, se obtiene por precipitación química cuando reacciona una sal de níquel acuosa con una base y se caracteriza por tener contenidos de níquel superiores a 55 % con bajos porcentajes de impurezas aniónicas. A partir del tratamiento de minerales mediante la lixiviación ácida a alta presión, HPAL, también se logra un hidróxido, pero su contenido de níquel es alrededor del 40 %.^(8,9,10)

Así mismo, en la tecnología de lixiviación carbonato amoniacal de minerales lateríticos, o proceso Caron, se obtienen fluidos atractivos para la síntesis de hidróxido de níquel (II). Dicha tecnología consta de las etapas fundamentales siguientes: ⁽¹¹⁾

- Preparación y reducción del mineral laterítico.
- Lixiviación del mineral reducido, obtención del licor producto rico en compuestos complejos de níquel y cobalto.
- Precipitación del cobalto y obtención del licor producto purificado.
- Destilación del licor producto purificado y producción del Carbonato Básico de Níquel (CBN).
- Calcinación del CBN y sinterización.

A partir del licor efluente generado durante la producción de CBN, algunos autores reportan la síntesis del $\text{Ni}(\text{OH})_2$: Mediante la precipitación con NH_4OH y NaOH , se obtuvo un hidróxido con una concentración de níquel entre 52,0 y 60,7 %. Por otro lado, a través de la electrocoagulación, el producto presentó un $35,71 \pm 2,13$ % de níquel y $6,05 \pm 0,83$ % de aluminio. En ambos procesos (precipitación y electrocoagulación), se estudió la influencia del pH y el tiempo de reacción sobre la eficiencia de precipitación y se logró precipitar entre 61,4 y el 99,6 % del níquel.^(4,12,13,14)

La preparación de hidróxido de níquel (II) a partir del licor producto de la lixiviación carbonato amoniacal es un tema poco abordado. La patente US 2,879, 137 refiere fundamentalmente el uso de dos etapas en el esquema tradicional de la tecnología de lixiviación carbonato amoniacal, consistentes en la predestilación del licor de lixiviación y precipitación de hidróxido de níquel, con el empleo de un hidróxido de metal alcalino o

alcalinotérreo como agente precipitante. Este esquema muestra las ventajas técnicas de separar los iones de cobalto presentes en el licor producto; pero refiere un consumo de agente precipitante que varía en un amplio intervalo (3,6 a 27 g de precipitante / g de níquel), no especifica la duración del proceso, ni la calidad del producto.⁽¹⁵⁾

La obtención de hidróxido de níquel para la fabricación de baterías recargables mediante la tecnología carbonato amoniacal, es una de las alternativas que se estudian para diversificar la producción en la Empresa Productora de Níquel Ernesto Che Guevara (ECG), Cuba; sin embargo, las investigaciones previas no contemplan las potencialidades del licor producto purificado para su aplicación como materia prima base.⁽¹⁶⁾

De acuerdo con los antecedentes de la investigación, este trabajo tuvo el propósito de determinar los parámetros para la pre-destilación del licor producto y su acondicionamiento para la síntesis del hidróxido de níquel (II) a escala de laboratorio; así como analizar la influencia del pH y el tiempo de reacción en la eficiencia de precipitación del níquel con hidróxido de sodio. El precipitado se caracterizó para comprobar la precipitación del níquel.

Materiales y métodos

Materiales

Se tomó una muestra de licor producto purificado, luego de la precipitación de cobalto en la planta de Lixiviación de la Empresa Productora de Níquel (ECG) de Cuba. El licor tuvo una densidad de 1,012 kg/m³, pH 9,92, concentración de níquel 7,83 g/L, amoníaco 53,49 g/L, y otras especies metálicas en baja concentración, similar a la reportada por otros autores (tabla 1).^(17,18)

Tabla 1- Composición química del licor producto del proceso de lixiviación carbonato amoniacal, g/L.

Ni	Co	Fe	Cu	Zn	Mn	Mg	NH ₃
7,83	0,044	0,011	0,002	0,008	0,029	0,165	53,49

Para la precipitación química de $\text{Ni}(\text{OH})_2$ se preparó una disolución de hidróxido de sodio con agua destilada a concentración de 88 g/L.

Equipos

La destilación se realizó en una instalación experimental compuesta por un reactor encamisado provisto de un agitador y un termostato (figura 1a); por su parte, para la precipitación del hidróxido de níquel se utilizaron fundamentalmente un reactor con agitación, el medidor de pH y una bomba peristáltica (figura 1b).

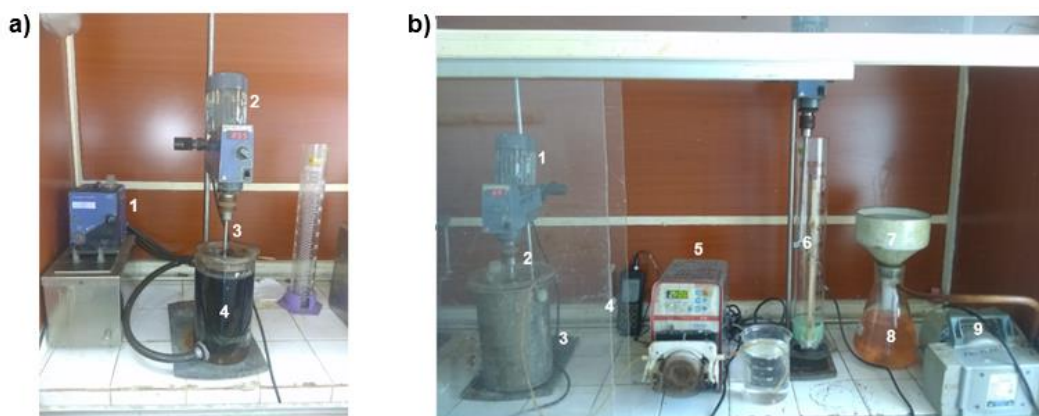


Fig. 1 - Instalación experimental

a) pre-destilación del licor descobaltizado: 1- Termostato, 2- Agitador, 3- Impelente, 4- Reactor encamisado; b) Precipitación de hidróxido de níquel: 1- Agitador, 2- Impelente, 3- Reactor, 4- Medidor de pH, 5- Bomba peristáltica, 6- Probeta para coleccionar la pulpa de $\text{Ni}(\text{OH})_2$, 7- Embudo, 8- Kitasato, 9- Bomba de vacío

La composición química de la materia prima, productos sólidos y líquidos se determinó mediante la técnica de absorción atómica. La medición de pH se realizó con un equipo portátil marca Hanna con electrodo combinado de doble unión, relleno de gel y provisto de sonda de acero inoxidable para medir la temperatura.

Procedimiento experimental

Se siguieron los procedimientos de Bare (1959) y Revé (2018), como se refiere a continuación: ^(15,19)

El amoníaco se removió parcialmente del licor carbonato amoniacal descobaltizado mediante pre-destilación y se obtuvo el licor para la síntesis del $\text{Ni}(\text{OH})_2$. Luego, se efectuó la precipitación química con hidróxido de sodio de la cual se obtuvo el hidróxido de níquel (II) y un licor residual (figura 2).

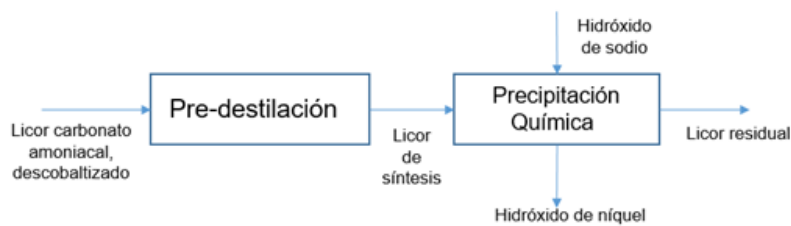


Fig. 2- Representación del procedimiento experimental

Pre-destilación de licor producto descobaltizado

Se realizó a 85 °C durante 45 y 60 min, con el objetivo de disminuir la concentración de amoníaco, según los pasos siguientes:

- Filtrar el licor descobaltizado (solución) y realizar análisis químicos para determinar el contenido de: Ni, Co, Fe, Cu, Zn, Mg, Mn y NH_3 .
- Verter en el reactor 1,5 litros de solución y agitar a una temperatura de 85 °C.
- Interrumpir la predestilación a los 45 min de haberse alcanzado la temperatura de trabajo.
- Enfriar la solución.
- Envasar 25 mL de licor para análisis químico.

Precipitación de hidróxido de níquel

- Verter en el reactor 1,5 L el licor de síntesis. Agitar.
- Adicionar solución de hidróxido de sodio a 88 g/L mediante una bomba reguladora de flujo para precipitar el contenido de níquel.
- Medir pH continuamente hasta alcanzar el pH de trabajo.

- d) Al alcanzar el pH de trabajo, suspender la alimentación de hidróxido de sodio hasta lograr el tiempo de trabajo. Medir el pH cada 10 min.
- e) Filtrar la suspensión.
- f) Lavar la torta en cuatro etapas con agua destilada, con una relación agua/sólido de 4/1 a 70 °C.
- g) Pesar la torta. Envasar 25 mL de licor para análisis químico.
- h) Secar la torta a 80 °C. Pesar.
- i) Envasar 5 g para análisis químico.
- j) Medir el consumo de hidróxido de sodio.

Diseño de experimentos

La precipitación de níquel se realizó mediante un diseño experimental factorial multinivel, dos factores (pH y tiempo de retención), dos niveles y dos réplicas, para un total de 12 corridas experimentales (tabla 2).^(4, 20) El orden de los experimentos fue aleatorio, se utilizó el programa Statgraphics XV.II.

Tabla 2- Planificación de los experimentos

No.	pH		Tiempo (h)	
	Nivel	Valores	Nivel	Valores
1	-1	12,5	1	3
2	1	13,5	1	3
3	-1	12,5	-1	1
4	1	13,5	-1	1
5	-1	12,5	-1	1
6	1	13,5	1	3
7	1	13,5	-1	1
8	-1	12,5	1	3
9	-1	12,5	1	3
10	1	13,5	-1	1
11	-1	12,5	-1	1
12	1	13,5	1	3

Variable respuesta: Eficiencia de precipitación del hidróxido de níquel (%)

La eficiencia de precipitación de níquel se calculó mediante la ec. (1):

$$\xi = \frac{x_{Ni} \cdot M}{V_D \cdot C_{Ni}} \quad (1)$$

donde:

ξ : Eficiencia de precipitación de Ni, %

x_{Ni} : Concentración de níquel en el precipitado, fracción masa

M: Masa de sólido seco precipitado, g

V_D : Volumen de licor inicial (licor producto descobaltizado), L

C_{Ni} : Concentración de Ni en el licor inicial, g/L

Resultados y discusión

Caracterización de los productos de síntesis

La pre-destilación del licor carbonato amoniacal, a 85 °C durante 45 min, produjo una remoción del amoníaco (NH₃) en un 39 %; el hierro (Fe) 73 %, manganeso (Mn) 24 % y el magnesio (Mg) 17,6 %. El licor de síntesis presentó una concentración de NH₃ 32,58 g/L, níquel 8,92 g/L y concentraciones de otros iones metálicos o impurezas inferiores a 0,1 g/L (tabla 3).

Tabla 3- Composición química del licor de síntesis, g/L

Ni	Co	Fe	Cu	Zn	Mn	Mg	NH ₃
8,92	0,071	0,003	0,002	0,007	0,022	0,136	32,58

Para un tiempo de pre-destilación de 60 min, la concentración de amoníaco se redujo hasta 18,79 g/L; lo que no resultó favorable para la investigación. La eliminación de la mayor parte del NH₃ presente en la solución propicia el aumento de la precipitación de impurezas como hierro y manganeso, que llevan consigo pequeñas cantidades de níquel y afectan la recuperación total de níquel.⁽¹⁵⁾

Como resultado del proceso de precipitación se obtuvo un hidróxido cuya concentración promedio de níquel (+/-desviación estándar) fue de 59,56 (+/- 3,305) % (tabla 4).

Tabla 4- Caracterización del precipitado de níquel

Código	Concentración de los elementos (%)						
	Ni	Co	Fe	Mn	Mg	Cu	Zn
NiOH ₂ -1	62,59	0,051	0,008	0,013	0,596	S/D ⁽¹⁾	0,011
NiOH ₂ -2	63,32	0,063	0,018	0,084	0,557	0,014	0,055
NiOH ₂ -3	60,47	0,018	0,019	0,101	0,641	0,016	0,066
NiOH ₂ -4	62,23	0,031	0,013	0,084	0,582	0,013	0,058
NiOH ₂ -5	58,50	0,022	0,013	0,146	0,901	0,021	0,059
NiOH ₂ -6	62,50	0,048	0,035	0,075	0,516	0,013	0,047
NiOH ₂ -7	60,03	0,034	0,021	0,072	0,490	0,013	0,049
NiOH ₂ -8	51,00	0,038	0,017	0,070	0,512	0,016	0,054
NiOH ₂ -9	59,29	0,041	0,014	0,075	0,522	0,018	0,059
NiOH ₂ -10	58,12	0,039	0,020	0,055	0,470	0,016	0,051
NiOH ₂ -11	58,71	0,031	0,037	0,151	0,580	0,018	0,048
NiOH ₂ -12	57,90	0,087	0,018	0,061	0,490	0,015	0,051
Promedio	59,56	0,042	0,019	0,082	0,570	0,016	0,051
Desviación estándar	3,305	0,019	0,009	0,038	0,116	0,003	0,001

⁽¹⁾ S/D: Sin datos

La concentración de níquel resultó inferior al valor teórico del 63,4 %.⁽²¹⁾

Este hecho se atribuye a la presencia de otras especies metálicas de cobalto, manganeso, hierro, magnesio, cobre y zinc o a la probable existencia de impurezas aniónicas. La concentración de níquel promedio del hidróxido fue de 59,56 % y de Mn 0,082 %, en comparación con la alcanzada por Cisneros (2015) y Revé (2018) es mayor en el caso del níquel; 56,39 % y 52,59 % y menor en el caso del Mn; 0,52 % y 0,22 %.^(4,19)

Por su parte, el licor residual luego de la precipitación del hidróxido, presentó una concentración promedio (+/-desviación estándar) de níquel de 0,85 (+/- 0,422) g/L (tabla 5).

Tabla 5- Caracterización de los licores residuales

Código	Concentración (g/L)							
	Ni	Co	Fe	Mn	Mg	Cu	Zn	NH ₃
LP-1	1,23	0,016	0,0100	N/D	0,135	0,0050	0,0070	28,96
LP-2	0,55	0,016	0,0089	0,0890	0,154	N/D	0,0010	28,96
LP-3	1,04	0,013	0,0089	0,0850	0,215	N/D	0,0007	27,79
LP-4	0,40	0,029	0,0075	0,0002	0,131	0,0008	0,0007	29,79
LP-5	1,11	0,041	0,0150	0,0006	0,199	0,0007	0,0006	31,78
LP-6	0,54	0,029	0,0089	0,0020	0,181	0,0008	0,0006	28,19
LP-7	0,41	0,032	0,0093	0,0002	0,131	0,0009	0,0004	29,39
LP-8	1,55	0,029	0,0120	0,0002	0,182	0,0007	0,0006	29,19
LP-9	1,51	0,028	0,0110	0,0003	0,142	0,0009	0,0006	28,59
LP-10	0,53	0,031	0,0099	0,0002	0,128	0,0006	0,0006	30,58
LP-11	0,84	0,041	0,0120	N/D	0,009	0,0005	0,0005	29,39
LP-12	0,53	0,026	0,0110	0,0002	0,110	0,0006	0,0005	28,79
Promedio	0,85	0,028	0,0104	0,0178	0,143	0,0012	0,0012	29,28
Desviación estándar	0,422	0,009	0,002	0,036	0,053	0,001	0,002	1,069

Como se puede observar en la tabla 5, el licor residual de la precipitación de hidróxido de níquel(II) presentó concentraciones remanentes de especies metálicas menores o iguales que 1,55 g/L, por lo que resulta conveniente realizar un tratamiento secundario para la recuperación, como es la electrocoagulación ⁽¹²⁾, adsorción ⁽²²⁾, coagulación-floculación ⁽²³⁾ o su posible reincorporación a la precipitación química con hidrosulfuro de amonio.

La mayor eficiencia de precipitación de níquel de un 92,41 (+/- 2,44) % se obtuvo a un pH igual a 13,5 y tiempo 1 h, para un consumo específico de 5,25 (+/- 0,24) g NaOH por g de Ni(OH)₂ precipitado (tabla 6).

Sin embargo, a pH 12,5 y tiempo de una hora se alcanzó una eficiencia entre 79 y 82 %.

El consumo específico de NaOH fue superior al estequiométrico (Ce=1,16 g/g) que se determinó a partir de la reacción (2).

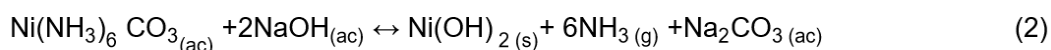


Tabla 6- Indicadores de la precipitación del hidróxido de níquel (II).

No.	pH		t ⁽¹⁾ (h)	ξ ⁽²⁾ (%)	M ⁽³⁾ (g)	V ⁽⁴⁾ (L)	Ce ⁽⁵⁾ (g/g)
	Inicial	Final					
1	12,5	12,3	3	81,20	17,30	0,97	4,93
2	13,5	13,4	3	87,85	18,50	1,38	6,56
3	12,5	12,4	1	82,08	18,10	0,93	4,53
4	13,5	13,4	1	95,20	20,40	1,21	5,22
5	12,5	12,4	1	81,82	18,65	0,88	4,18
6	13,5	13,5	3	87,93	18,76	1,16	5,44
7	13,5	13,5	1	91,38	20,30	1,16	5,03
8	12,5	12,5	3	74,20	19,40	1,03	4,66
9	12,5	12,5	3	75,14	16,90	1,02	5,29
10	13,5	13,1	1	90,66	20,80	1,30	5,50
11	12,5	12,5	1	79,61	12,10	0,97	7,03
12	13,5	13,4	3	88,14	17,30	1,50	6,50

⁽¹⁾t: tiempo de residencia; ⁽²⁾ξ: eficiencia de precipitación; ⁽³⁾M: masa de hidróxido de Níquel seco; ⁽⁴⁾V: volumen de NaOH; ⁽⁵⁾Ce: Consumo específico de NaOH por g de Ni(OH)₂

La diferencia entre el consumo real y teórico de NaOH puede estar asociada a la presencia de compuestos oxidados de azufre, formados durante los procesos de lixiviación y precipitación de cobalto, estos compuestos presentes en el licor aumentan los gastos por consumo de reactivo de precipitación.^(11,24)

Por otro lado, para un tiempo igual a 3 h, la eficiencia de precipitación resultó baja para ambos valores de pH (entre 74 y 88 %, respectivamente).

Influencia de las variables principales sobre la eficiencia de precipitación

El pH es la variable independiente que más influye en la precipitación del níquel, con una relación directa. Al aumentar la concentración de iones hidróxido provenientes del NaOH, aumenta la eficiencia de precipitación (Figura 3a).

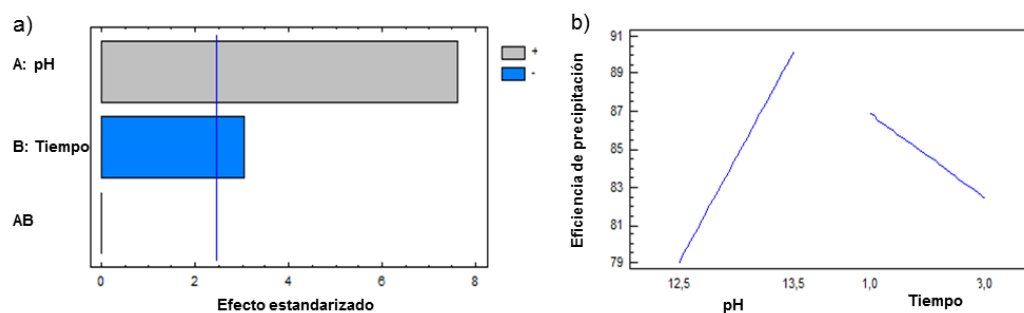
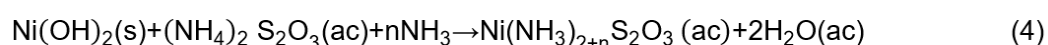
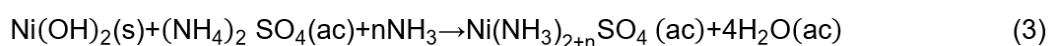


Fig. 3 - Influencia del pH y el tiempo de residencia. a) Diagrama de Pareto. b) Efectos Principales

En cambio, el tiempo de reacción tiene influencia negativa en la precipitación de níquel, probablemente debido a que con el transcurso del tiempo ocurre la disolución del níquel en presencia de iones sulfato (SO_4^{2-}) y tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$), por la formación de compuestos complejos en presencia de sulfato de amonio (reacciones 3 y 4).⁽¹¹⁾



El modelo ajustado para el cálculo de la eficiencia de precipitación de níquel en función del pH y el tiempo se muestra en la ecuación (5):

$$\xi_{Ni} = -55,9651 + 11,1555 \cdot \text{pH} - 2,08667 \cdot t - 0,009955 \cdot \text{pH} \cdot t \quad (5)$$

De acuerdo con el valor del estadístico R-Cuadrado, el modelo explica el 88,83 % de los valores de eficiencia de precipitación de níquel.

Se optimizó la ecuación (5) y se determinó la combinación de los niveles de los factores que maximiza la eficiencia de precipitación sobre la región indicada, ratificando que se obtienen los mejores resultados a $\text{pH}=13,5$ y $t=1$ h con una eficiencia de precipitación máxima igual a 92,4 %.

Los resultados demostraron que en el proceso de obtención de hidróxido de níquel, mediante predestilación y precipitación con hidróxido de sodio, a partir del licor producto descobaltizado de la ECG, es posible lograr una eficiencia de precipitación de níquel superior al 90 %; que puede estar limitada por la presencia de especies iónicas de azufre.

Conclusiones

1. Se determinó que la pre-destilación del licor producto descobaltizado durante 45 min a 85 °C, permite acondicionar el licor de síntesis del hidróxido de níquel(II) al reducir la concentración de amoníaco y la presencia de impurezas metálicas de manganeso y hierro.
2. Se comprobó que el pH y el tiempo de reacción presentan una influencia estadísticamente significativa sobre la precipitación del hidróxido de níquel(II) en el intervalo definido para cada variable. Se alcanzó la máxima eficiencia de un 92,41 %, a un pH 13,5, tiempo de residencia 1 h y consumo específico de 5,25 g NaOH por g Ni(OH)₂.
3. El precipitado presentó un 60,13 (+/-2,10) % de níquel, y baja concentración de impurezas tales como: 0,5 % magnesio y 0,19 % de cobalto, hierro, manganeso, magnesio, cobre y cinc.

Referencias bibliográficas

1. MARTINS, L.S., *et al.* Electric car battery: An overview on global demand, recycling and future approaches towards sustainability. *Journal of environmental management*, 2021. **295**: p. 113091. [Fecha de consulta: 30 enero 2023]. ISSN: 0301-4797. DOI:/10.1016/j.jenvman.2021.113091
2. WINJOBI, O., J.C. KELLY, and Q. DAI. Life-cycle analysis, by global region, of automotive lithium-ion nickel manganese cobalt batteries of varying nickel content. *Sustainable Materials and Technologies*, 2022: p. e00415. [Fecha de consulta: 30 enero 2023]. ISSN: 2214-9937. DOI: /10.1016/j.susmat.2022.e00415
3. CISNEROS, D., *et al.* Síntesis de hidróxido de níquel(II) con disoluciones multicomponentes de la tecnología Caron. *Revista Colombiana de Química*. 2021. **50(2)**: p. 49-57. ISSN: 2357-3791. DOI: 10.15446/rev.colomb.quim.v50n2.89644

4. CISNEROS, D., E. LEYVA, y N. CAPOTE, Obtención de hidróxido de níquel a escala de laboratorio. *Tecnología Química*. Santiago de Cuba, 2015. **35**(3). pp. 398-411. ISSN: 2224 6185.
5. KATE, R.S., S.A. KHALATE, y R.J. DEOKATE, Overview of nanostructured metal oxides and pure nickel oxide (NiO) electrodes for supercapacitors: A review. *Journal of Alloys and Compounds*. 2018. **734**: p. 89-111. ISSN: 0925-8388.
6. PONNUCHAMY, M.B., *et al.*, Preparation of nanocrystalline nickel oxide from nickel hydroxide using spark plasma sintering and inverse Hall-Petch related densification. *Ceramics International*. 2018. 44(13): p. 15019-15023. ISSN 0272-8842
7. STEIMECKE, M., *et al.*, Higher-valent nickel oxides with improved oxygen evolution activity and stability in alkaline media prepared by high-temperature treatment of Ni(OH)₂. *ACS Catalysis*, 2020. **10**(6): p. 3595-3603. ISSN: 2155-5435.
8. GULTOM, T. y A. SIANIPAR. *High pressure acid leaching: a newly introduced technology in Indonesia*. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. 413 (2020) 012015. IOP Publishing. DOI:10.1088/1755-1315/413/1/012015
9. VAUGHAN, J., *Chemical aspects of mixed nickel-cobalt hydroxide precipitation and refining*. University of Queensland, School of Chemical Engineering, Australia. Metallurgical Consultant, Perth, Australia, 2016.
10. WILLIAMS, C., *et al.* (2013). Selective leaching of nickel from mixed nickel cobalt hydroxide precipitate. *Hydrometallurgy* **138**: 84-92. DOI: 10.1016/j.hydromet.2013.05.015
11. ROJAS VARGAS A., N.M.E. TRUJILLO, and D.Y. GONZÁLEZ, *Ammoniacal Carbonate Leaching: Effect of Dissolved Sulfur in the Distillation Operation*. *Acta Chimica Slovenica*, 2020. **67**(4): p. 1239-1249. DOI: 10.17344/acsi.2020.6147
12. ROJAS VARGAS, A., *et al.*, Remoción de níquel por electrocoagulación del sistema Ni(II)-NH₃-CO₂-SO₂-H₂O con electrodos de aluminio. *Tecnología Química*, 2020. **40**(2): p. 393-412. ISSN_2224 6185

13. CISNEROS, D., E. LEYVA, y N. CAPOTE. Pruebas preliminares a escala piloto para la obtención de hidróxido de níquel para baterías recargables. *Tecnología Química*, 2018, **38**(3), p. 612-624 ISSN: 2224-6185.
14. ROJAS VARGAS, A., *et al.*, Removal of nickel from Ni(II)-NH₃-SO₂-CO₂-H₂O system by electrocoagulation, sedimentation, and filtration processes: Original scientific paper. *Journal of Electrochemical Science and Engineering*, 2022. e1376 DOI: <https://doi.org/10.5599/jese.1376>. ISSN 1847-9286.
15. BARE, C.B, CLAUSER, R.L., *Nickel and cobalt recovery from ammoniacal solutions*. 24 de Marzo de 1959. Solicitud de patente US. 2,879, 137. United States Patent Office.
16. CISNEROS, D., *Procedimiento para la obtención de hidróxido de níquel(II) a partir de disoluciones de la lixiviación de sulfuro de la tecnología Caron*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. 2021.
17. MAGAÑA HAYNES, M.E. Evaluación de la adición de licor con alto contenido de Amoniaco y Dióxido de Carbono en el alambique 208 de la Empresa Comandante Che Guevara. *Tecnología Química*, 2016. **36**(1), p. 36-48. ISSN: 2224 6185
18. GONZÁLEZ CARDOZA, M., *Influencia del flujo de licor producto y del vapor específico sobre el tamaño y la velocidad de sedimentación de las partículas de CBNi en la pulpa de destilación del licor*. Tesis en opción al título de Ingeniería Metalúrgica y Materiales. Departamento Metalurgia-Química. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa: Moa. Cuba. 2016.
19. REVÉ RILL, M., COBAS MARIÑO, Y. *Factores que influyen en la precipitación del hidróxido de níquel(II) a partir del sulfato de níquel(II) en la empresa Ernesto Che Guevara*. Tesis en opción al título de Ingeniería Metalúrgica y Materiales. *Departamento Metalurgia-Química*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Moa. Cuba. 2018
20. GARCÍA, L.Á., VIDIAUX, L. *Pruebas exploratorias para precipitar hidróxido de níquel a partir del licor descobaltizado y predestilado de la*

ECG. Informe Inédito. Centro de Investigaciones del Níquel. Moa. Cuba. 2020

21. ACHARYA, R., *et al.* (2003). Effect of precipitating agents on the physicochemical and electrolytic characteristics of nickel hydroxide. *Materials Letters* **57**(20) p. 3089-3095. DOI: 10.1016/S0167-577X(03)00002-8

22. PENEDO, M., *et al.* Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco. *Tecnología Química*, 2015. **35**(1): p. 73-91. ISSN: 2224 6185

23. RIVAS, S., *et al.* Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara. *Tecnología Química*. 2017. **37**(2): p. 195-205. ISSN: 2224 6185

24. ROJAS, A., M.E. Magaña, Ricardo, A, Lixiviación carbonato amoniacal: estimación del níquel disuelto en el efluente de destilación. *Revista de Metalurgia*, 2019. **55**(3): e. 149. ISSN-L: 0034-8570. DOI:10.3989/revmetalm.149

Conflictos de interés

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses

Contribución de los autores

Lilian Vidiaux-Arcia: realizó el trabajo experimental, discusión de los resultados, escritura y revisión del artículo.

Luis Ángel García-Frómeta: realizó el trabajo experimental, discusión de los resultados.

Deisy Cisneros-Sánchez: dirección del trabajo investigativo, discusión de los resultados, escritura y revisión del artículo.