

LA LIXIVIACIÓN DEL PROCESO CARON: SÍNTESIS DEL CONOCIMIENTO PARA SU PERFECCIONAMIENTO INDUSTRIAL. PARTE I

Antonio Ramón Chang Cardona*, Armando Rojas Vargas**

Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa*, Investigaciones del CEINNIQ - Grupo empresarial CUBANIQUEL**

El objetivo principal del presente trabajo es fundamentar las vías para incrementar la extracción de cobalto sin sacrificar la de níquel en la lixiviación del proceso CARON. Para alcanzarlo, se analizaron las causas de pérdidas de Ni y Co, basado en los resultados científicos y tecnológicos de investigadores cubanos y extranjeros, validados por la práctica industrial. Al mismo tiempo, se compararon los principales parámetros de operación de las plantas a nivel mundial, correlacionándolos con los resultados de sus extracciones. En el trabajo, se cuantificaron las reservas potenciales de las extracciones de Co por cada tipo de pérdida y se localizaron. Se estableció que: la optimización del flujo de aire en cada turbo debe corresponderse con las particularidades de cada planta industrial, en cuanto a calidad de la mena reducida y composición sustancial del licor lixivante, evaluados por el potencial redox de la pulpa antes de ser alimentada a la línea de turbo-aireadores. Se propone esta metodología para gobernar la aireación en la lixiviación de menas lateríticas reducidas con un elevado % de Fe₀ y Fe₂₊, como vía para elevar los extractables de Ni y Co a niveles más competitivos; y como base para el perfeccionamiento del método QT que determina dichos extractables con el propósito de exigirle más nivel de producción a la planta de lixiviación. Se citaron 34 referencias bibliográficas.

Palabras clave: proceso CARON, lixiviación, cobalto, níquel, mena laterítica.

The primary target of the present work is to base the routes to increase the cobalt extraction without exposing the nickel one in CARON leaching Process. In order to reach, the causes of losses of Ni and Co, based on the scientific and technological results of Cuban and foreign researchers were analyzed, validated by the industrial practice. At the same time, the main parameters of operation of the plants at world-wide level were compared, correlating them with the results of their extractions. In the work, the potential reserves of Ni and Co extractions by each class of their loss were quantified and located. It was established that: the optimization of the air flow in each turbo-mixer must correspond with the particularities of each industrial plant, as far as quality of the reduced ore and substantial composition of the leaching liquor, evaluated by the redox potential of the pulp before being fed the line of turbo-mixer. This methodology sets out to govern the aeration for the leaching operation with high a % of Fe₀ and Fe₂₊ in the reduced ore, as via to elevate the Ni and Co reduced efficiency at the more competitive levels; and as base for the improvement of the QT-method that determines their reduced efficiency in order to demander more production of Ni and Co to the leaching plant. In this work 34 bibliographical references were mentioned.

Key words: CARON process, leaching, cobalt, nickel, lateritic ore.

Introducción

Se podría afirmar que la tecnología carbonato-amoniaco (TCA) no goza de una buena reputación a nivel mundial porque no se ha construido ninguna otra planta después de la década del 80. Además de las dos empresas cubanas, solamente quedan en funcionamiento, Yabulu-QNI (Australia) y Tocantins-Niquelandia (Brasil). En todas, las recuperaciones generales de Ni y Co son bajas, limitadas

en lo esencial por los extractables de la operación de reducción y sus extracciones de Co en la lixiviación. Por lo que el objetivo principal del trabajo es fundamentar las vías para incrementar la extracción de cobalto en las plantas industriales sin sacrificar la del níquel. También, se plantea como objetivo específico debatir las líneas para el perfeccionamiento integral de dicha lixiviación, sus prioridades y estrategias para el desarrollo futuro del circuito tecnológico-reducción-lixiviación.

Metodología

La metodología que se empleará para cumplir con dichos objetivos será el análisis bibliográfico sintetizado y la integración de los conocimientos científicos y tecnológicos universales que se han validado por la práctica industrial durante lo más de 60 años de existencia del Proceso CARON para sistematizarlos. Los métodos deductivo y empírico, se complementarán con la fundamentación teórica de los resultados de los trabajos que se citen.

Resultados y discusión

Las extracciones de Ni y Co en el sistema de lixiviación y lavado están limitadas por la magnitud de sus tipos de pérdidas por: hidrólisis de sus amoniacatos, coprecipitación con los óxidos e hidróxidos de hierro (OHH) en dos variedades, la primera-formando soluciones sólidas, y la segunda- segregándose en la superficie de los OHH, y finalmente, las pérdidas por pasivación de sus ferroaleaciones. A esto hay que agregarle, el recubrimiento de algunas partículas de Ni y Co por los compuestos sólidos que van precipitando desde los tanques de contactos hasta el final de la aireación, que provoca una alta resistencia a la difusión de los oxidantes y reactivos hacia la superficie de dichos metales, y por tanto, no le da tiempo a lixiviar. A continuación, se analizarán los tipos de pérdidas siguientes.

Pérdidas de Ni y Co por hidrólisis

Están relacionadas con la solubilidad del Ni y el Co en soluciones carbonato-amoniacaes, determinada por la estabilidad de sus complejos amoniacaes, que dependerá del contenido de NH_3 , CO_2 y de la temperatura de lixiviación. Las reacciones y modelos matemáticos que mejor describen la solubilidad de los complejos amoniacaes de Ni, Co, Fe, Cu y Mg fueron demostrados por un equipo de científicos rusos y cubanos /5, 7, 14, 16/ durante los años 1972-1989.

Optimización de la composición del licor lixivante en NH_3 y CO_2

Con la arrancada de la planta de SERED (antigua Checoslovaquia) en 1962, la recuperación de Co se convirtió en prioridad para todas las tecnologías con Proceso CARON, ya que consideraron la obtención de algún tipo de producto de Co. Con excepción de las dos plantas cubanas, todas incrementaron las concentraciones de NH_3 total y optimizaron la relación de concentraciones totales (en g/dm^3) de NH_3 y $\text{CO}_2 - \text{RC} (\text{NH}_3/\text{CO}_2)$, aunque esta última varió ampliamente entre 1,3 y 1,9; como puede observarse en la tabla siguiente.

Tabla 1
Parámetros operacionales de la primera etapa de lixiviación en las plantas

PLANTAS	Punta Gorda	NONOC /12/	YABULU /23, 27/		Niquelandia, Tocantins 1999 /22/
			1982 (GRV)	1998 (QNI)	
NH_3 , g/dm^3	60-68	75-85	85	90	82-85
CO_2 , g/dm^3	30-35	40-50	55	70	60-65
RC (NH_3/CO_2)	1,9-2,0	1,7-1,9	1,5	1,3	1,3-1,4
Temperatura, $^\circ\text{C}$	42-48	50-55	41-48	50-52	45-52
Extractables, Ni (%)	80-82	82	82	82-84	75
	Co	50	65	55-60	45
Extracciones, Ni (%)	78-79	79-80	81-82	80-82	73
	Co	45-47	59-60	40-44	33
Observaciones		Cerró en 1986	1985, inicia agotamiento mina GRV, fin en 1993	1986, mezcla menas- New Caledonia, e Indonesia	

Una de las confirmaciones empíricas del modelo de solubilidad /5, 7, 16/ se obtuvo por Ventura /31/ con mena reducida de Nicaro y un licor fresco (LF)

con concentración de NH_3 total constante para una temperatura de lixiviación de 28°C , cuyos resultados se muestran en la figura 1. La validación industrial

del incremento de la extracción de cobalto con el aumento de la CNH₃ total se publicó, entre otros

trabajos, en el artículo /23/, basado en la experiencia de Yabulu-GRV (tabla 2).

Tabla 2
Efecto de la CNH₃ total sobre la extracción de cobalto en lixiviación

CNH ₃ total, g/l	55	65	75	85
E _{Co} , %	33	42	50	59

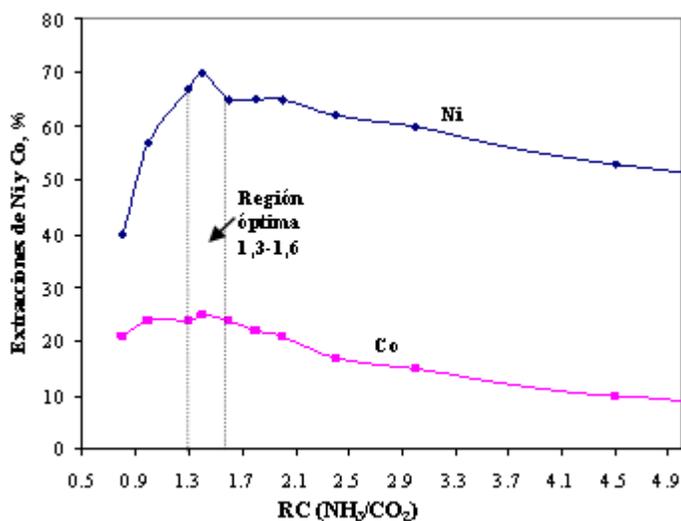


Fig. 1 Influencia de la relación de concentraciones totales de NH₃ y CO₂ sobre las extracciones de Ni y Co /31/. Flujo de aire y CNH₃ total constantes.

Para la industria es importante tener en cuenta que al aumentar la CNH₃ total, crece considerablemente la solubilidad /5, 7/ del Fe (II), que además, para una CNH₃ total constante, mientras menor sea la RC (NH₃/CO₂), mayor será su extracción, lo cual no es aconsejable para los actuales regímenes de aireación, como se analizará más adelante. En el caso de la solubilidad del Mg, al aumentar la CNH₃ libre, decrece bruscamente la solubilidad del magnesio, hidrolizándose una menor masa de la sal doble de magnesio y amonio- MgCO₃·(NH₄)₂·CO₃·5H₂O, lo cual es conveniente para el proceso por evitar las incrustaciones en las tuberías, enfriadores de licor y agitadores mecánicos, como se observó en las visitas técnicas /22, 26, 27/. También, dicha sal recubre parte de las partículas lixiviables de Ni, Co, Fe en la MR.

Efecto de la temperatura de lixiviación

El aumento de la temperatura de la pulpa durante la lixiviación provoca una disminución de la extracción de Ni, pero en mayor medida la de Co, lo cual es una realidad industrial reconocida por todos los productores, constituyendo el enfriamiento, una de las principales vías más económicas para elevar la extracción de Co. Según la práctica industrial de Yabulu-QNI /24/, por cada 1 °C de decrecimiento de la temperatura en lixiviación, se recupera el 1 % de Co. No obstante, todavía no se comprende del todo, que un pequeño aumento de la temperatura desplaza la región óptima de composición del licor lixivante hacia la zona de mayor concentración de CO₂, coincidente tanto para el Ni, como para el Co, lo que se ha demostrado, tanto en soluciones puras, como con menas reducidas /5, 7, 16/. En dichos trabajos se

reporta, que la RC (NH₃/CO₂) óptima se mueve desde 1,5-1,8 a temperaturas entre (20-25) °C; y hasta 1,2-1,4 para las que están alrededor de 50 °C.

Como se observa en la tabla 1, las plantas extranjeras se acercan empíricamente a dicha tendencia, pero sin una clara regularidad, lo que indica la necesidad de precisar la composición óptima del LF para cada planta, al disminuir la temperatura de lixiviación, de acuerdo a sus particularidades tecnológicas.

De todo el análisis anterior se deduce, que mientras más se enfríe el sistema de lixiviación y se incremente la CNH₃ total en su región óptima, se elevarán las extracciones de Co y Ni, disminuirá la solubilidad del Mg, menos habrá que carbonatar el licor fresco (LF) en la operación de absorción del CO₂ y el NH₃, también, mermarán las pérdidas de amoníaco en dicha operación. Lo que se traducirá, en un aumento de la producción de Co y Ni con menos costos de explotación. Quedaría el inconveniente de lidiar con una mayor masa de Fe en el licor lixiviante durante la aireación.

Además de los trabajos mencionados, se han realizado numerosas investigaciones a escalas diferentes a lo largo de estos años en Cuba y en el extranjero /13, 15, 17, 25, 32, 33/, ya sea valorando la solubilidad del Ni y Co en un tiempo dado, por sus extracciones, o por las concentraciones del Fe y

dichos metales en los licores productos de la lixiviación, las que han confirmado las posiciones teóricas del mencionado equipo de investigadores.

Sin embargo, a pesar del notable incremento de las extracciones de Co, cada planta tuvo resultados diferentes respecto a su extractable de Co (tabla 1) por el mal manejo del régimen de aireación /6, 7, 11/, cuyas causas serán analizadas a continuación.

Pérdidas de cobalto con los OHH

La magnitud de estas pérdidas dependerá en buena medida del contenido de Fe en la mena laterítica de origen. Como se observa en la tabla 3, las plantas con menos afectación potencial son Tocantins y Yabulu, cuando explotó su mina original de Greenvale (GRV). El resto de los factores que determinan la profundidad de las pérdidas de Co y Ni se explicarán a continuación.

Para comprender con cuales OHH ocurre un tipo determinado de pérdida y su naturaleza es necesario conocer el orden de su formación, lo cual fue establecido por espectroscopia Mössbauer y confirmado por microscopía en /7, 8/. Como se demostró en los trabajos citados, los iones complejos de hierro se oxidan e hidrolizan en el orden siguiente: Fe₃O_{4(S)} → γ-Fe₂O_{3(S)} → FeOOH → Fe(OH)_{3(S)}.

Tabla 3
Composición química de la mena alimentada a las plantas industriales con tecnología carbonato-amoniaco en por ciento

PLANTAS	Ni	Co	Fe	MgO	SiO ₂
Nicaró (Cuba)	1,16	0,089	38,6	6 - 8	12 - 16
Punta Gorda (Cuba)	1,27	0,09	38 - 39	5 - 6	10 - 12
NONOC (Filipinas) /12/	1,22	0,10	38 - 39	6,3	---
YABULU (Australia) /23/ Greenvale (GRV) /26/	1,35 (1,5)	0,11	22 - 23 (25)	5 - 7	35
YABULU (Australia) /27/ Queensland Ni (QNI)	1,5 - 1,6	0,12 - 0,2	35 - 40	6 - 8	12 - 16
NIQUELANDIA /22/ Tocantins (Brasil)	1,5	0,13	25 - 27	6 - 8	20 - 25

Pérdidas de Co por la formación de soluciones sólidas con la maghemita

El principal síntoma de ocurrencia de tales tipos de pérdidas se manifiesta por la marcada

correlación lineal (tabla 4) entre la concentración de cobalto (C_{Co}) en el licor lixiviante antes de entrar al turboaireador (turbo) y la extracción de Co para un tiempo de aireación que se corresponde con su primer máximo en la curva cinética de

la lixiviación de una MR a escala de banco (26 dm³ de pulpa), lo que equivale a localizarlas en el primer turbo de la planta industrial. En el caso del Ni no se apreció ninguna correlación /7, 11/. Esto se explica por las particularidades estructurales del cristal de maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) y por el pequeño radio iónico (en nm) del Co(III)-0,064 - en relación con el del Ni(II)-0,074- mientras que el de los iones de Fe(III)- 0,067 y el Fe(II)-0,08 demuestran el Co(III) puede sustituirlos.

Al ser las pérdidas de Co proporcionales a la CCo en el licor que se alimenta a los turbos, entonces, la solución tecnológica para minimizarlas es disminuirla, al menos, hasta 0,1 g/dm³. Lo

interesante del problema es que los especialistas de Yabulu reconocen este tipo de pérdida /23/, pero los de Tocantins no /22/, a pesar de que existió una experiencia industrial positiva en NONOC al descobaltizar el licor de 2da etapa, lo que explica la menor diferencia de las extracciones de Co respecto a su extractable (ver la tabla 1).

Para tener una medida de lo actual del problema a nivel mundial, los licores industriales que se alimentan a los turbos, contienen entre 0,2 y 0,5 g/L, lo que representa una reserva potencial máxima de extracción de cobalto de aproximadamente un 10 % (estimación conservadora por la tabla 4).

Tabla 4
Extracción de Co de menas reducidas en función de la concentración de Co en el licor lixivante antes de la aireación. $Q_a = 1,8 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min.})$; $t = (45-47)^\circ\text{C}$; $\text{CNH}_3 \text{ total} = (85-87)\text{g/dm}^3$; $\text{RC} (\text{NH}_3/\text{CO}_2) = 1,5 - 1,6 / 6, 7, 11/$

$E_{\text{Co}}, \%$	55,5	52	46	42,3	41,4	35,2
$C_{\text{Co}}, \text{g/dm}^3$	0,034	0,05	0,128	0,157	0,176	0,204

Pérdidas por coprecipitación segregante o adsorción del Co y Ni en la superficie de los OHH

Este tipo de pérdida transcurre paralelamente a las anteriores, siendo la más peligrosa porque participa toda la masa de OHH formada durante la lixiviación, en la que es mayoría la goethita, aunque algunos autores /20, 30/ en las décadas del 60 hasta el año 80 lo confundieron con el $\text{Fe}(\text{OH})_3$, incluso les atribuyeron ambos tipos de pérdidas (2.1 y 2.2), lo que es comprensible por el estado del conocimiento sobre el tema en aquella época.

Numerosas investigaciones han validado la teoría y regularidades de la cristalización de compuestos a partir de soluciones /1, 21, 34/, lo que ha permitido darle un nuevo enfoque al diagnóstico de este tipo de pérdida, cuyo síntoma /6, 7, 11/ consiste en la disminución lineal brusca de la extracción de Co (ECo) con el aumento de la velocidad específica de airea-

ción $Q_a, \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min.})$. Sin embargo, como se demuestra en /29/, el problema de la optimización del aire es más complejo, debido a que para cada calidad de mena reducida (MR), valorada por su contenido de Fe (II), existirá un flujo de aire óptimo que permitirá maximizar las extracciones de Ni y Co. Por tanto, cada planta industrial debe precisar dichos valores en un compromiso técnico-económico, de acuerdo a sus particularidades. Un ejemplo, se muestra en la figura 2 para las actuales MR de la planta de Nicaro. Considerando, que el análisis de Fe (II) en la mena reducida es caro y demorado, se recomienda sustituirlo por la medición del potencial redox de la pulpa antes de airearla, correlacionando sus valores, como se muestra en la figura 3. Esto permitirá operar el aire durante el turno de trabajo con más frecuencia en correspondencia con la variabilidad en la calidad de la MR para poder mantener las extracciones de Co y Ni en sus mayores potencialidad respecto a sus extractables.

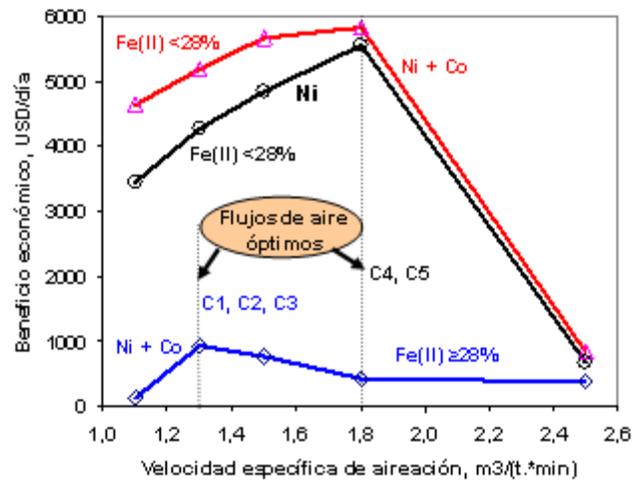


Fig. 2 Beneficio económico por el incremento de los extractables de Ni y Co/29/.

Por gráficos como el de la figura 3, aplicado a la lixiviación industrial, se puede determinar el Fe (II) como indica la dirección de las flechas y conocer la máxima extracción potencial de Ni y Co, así como ubicar la calidad de la

MR que se procesa (intercepción de la flecha horizontal sobre la línea recta en la figura 3), por la cual se definirá el flujo de aire óptimo a suministrar en los turbos, usando los gráficos del tipo- figuras 4 y 5.

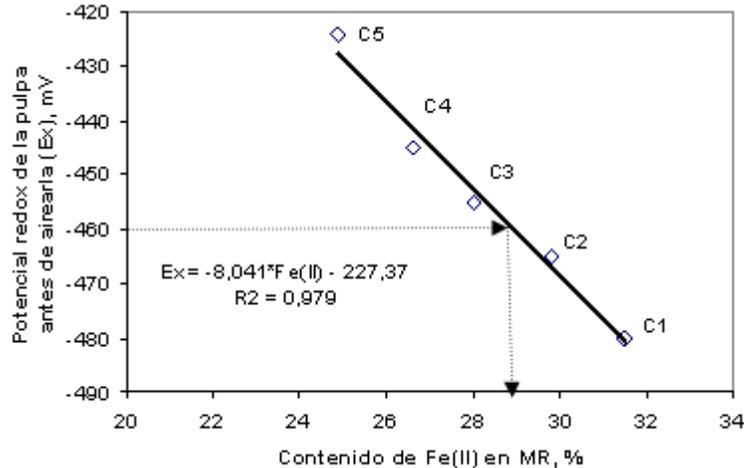


Fig. 3 Correlación entre el potencial redox de la pulpa antes de airearla y el contenido de Fe (II) en MR /29/.

Estos resultados indican la necesidad de financiar investigaciones a escala industrial para obtener estas cuatro figuras e implementar la nueva metodología para operar el aire, dándole un nuevo sentido práctico- más concreto- al uso del potencial redox como herramienta para optimizar el régimen de aireación. En la planta existirán diferencias en la

composición (presencia y niveles de concentración) del licor lixivante en cuanto a: NH_3 , CO_2 , iones del Ni, Co, Fe, S, que modificarán los valores del potencial Ex, publicados en/29/ para las condiciones experimentales de la prueba QT, por la que se determinan los extractables de Ni y Co. A esto, hay que sumarle las diferencias que existen entre las

plantas del mundo, en cuanto a: construcción y cantidad de turbos, potencia específica de agitación,

que definirán la eficiencia de absorción del oxígeno y el total de aire para emplear.

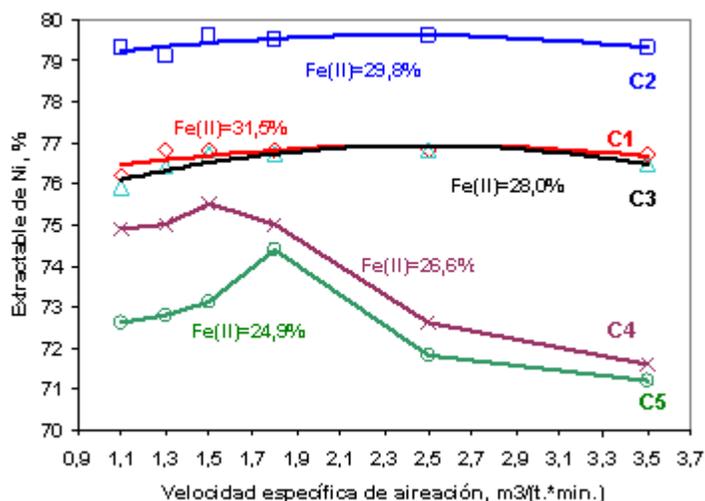


Fig. 4 Efecto de la velocidad de aireación y la calidad de MR sobre el extractable de Ni /29/.

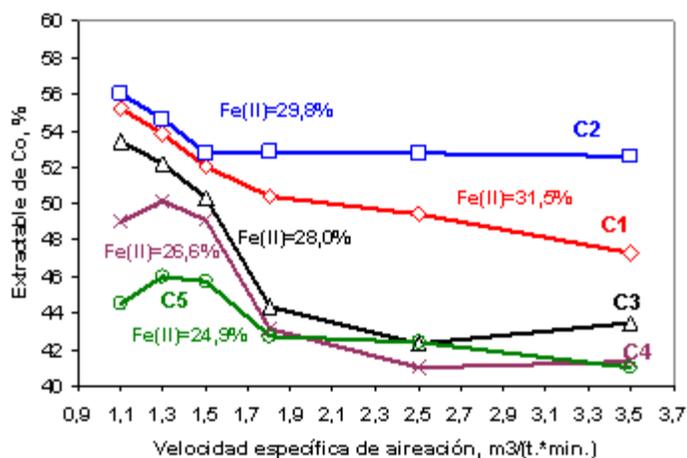


Fig. 5 Efecto de la velocidad de aireación y la calidad de MR sobre el extractable de Co /29/.

Estas regularidades permiten cuestionar la reserva real de las extracciones de Ni y Co al compararse con sus actuales extractables (ver tabla 1), ya que los resultados del trabajo /29/ mostraron un incremento (no contabilizado actualmente) potencial de extracción de ambos metales, al elevarse sus extractables en (3- 8) % para el Co y en (3 ó menos del 1) % para el Ni, en dependencia de la calidad de la MR y de su frecuencia de aparición en la planta durante el año. También, esto pone en duda las metodologías empleadas por las dos plantas extran-

geras para determinar sus extractables, al no reconocer este tipo de pérdida.

Las elevadas velocidades específicas de aireación por encima de 1,8 m³/(t.*min.) en los primeros turboaireadores de todas las plantas (tabla 5), con menos incidencia en Yabulu, cuando procesó mena de Greenvale (GRV) con bajo hierro, determinaron una buena parte de las pérdidas de Co, nótese, que al éste importar mena de Nueva Caledonia e Indonesia eleva sus pérdidas de Co a 10-15 % (tabla 1).

También, tales velocidades de aireación obliga a usar más floculante para clarificar el rebose de licor producto en los espesadores, incluso, si la mena es

muy rica en Fe y la velocidad específica de aireación es muy alta, existirá el riesgo de hacer inoperable la tecnología por la de crisis de sedimentación.

Tabla 5
Flujos de aire específicos en los turboaireadores de las plantas de lixiviación carbonato-amoniaco en funcionamiento

Turbo No.	NICARO 1991		PUNTA GORDA				YABULU 1982 /24/		Tocantins 1999 /22/	
	V_a	Q_a	1987	1991	Actual		V_a	Q_a	V_a	Q_a
	m^3/t	$m^3/(t \cdot min)$	V_a	V_a	V_a	Q_a				
PRIMERA ETAPA DE LIXIVIACIÓN (I)										
1	19	2,3	17	20	18	3,1	47	3,1	38	2,5
2	19	2,3	17	20	18	3,1	28	1,9	36	2,4
3	19	2,3	17	20	18	3,1	19	1,3	35	2,3
4	19	2,3	17	20	18	3,1	13	0,9	31	2,1
5	19	2,3	17	20	18	3,1				
6	19	2,3	17	20	18	3,1				
7	19	2,3	17							
8	19	2,3	17							
Total (I)	95	2,3	135	120	108	3,1	107	1,8	140	2,3
$r_{i(Turbo)}$, min		8,4				5,8		15		15
r_p , min	42		42	35	35		60		60	
SEGUNDA ETAPA DE LIXIVIACIÓN (II)										
Total (II)	50		50	50	50					
(I + II)	145		185	170	158		107		140	
TERCERA ETAPA DE LIXIVIACIÓN (III)										
Total (III)	25		25							
(I+II+III)	170		210	170	158		107		140	

Este último fenómeno, junto al aumento de la temperatura en lixiviación, han sido las dos principales causas que han limitado elevar los extractables de Ni y Co en la operación de reducción /10/ debido al incremento de la metalización del Fe, que también implica, un mayor contenido de Fe (II) en la MR, lo que ha contribuido en buena medida, a la mala reputación de la TCA. Por tanto, esta metodología permitirá optimizar el régimen de aireación para tales menas reducidas con la consecuente modificación de la cantidad de reactores para la lixiviación.

A pesar de todas las demostraciones científicas expuestas, los especialistas de las dos plantas extranjeras (Niquelandia-Tocantins y Yabulu-GRV) han subestimado el efecto de este tipo de pérdida /22, 24/ y le dieron más importancia a las pérdidas por adsorción del SiO₂ /23/, basándose en las particularidades de sus menas (tabla 3) y en los resultados de las investigaciones /19/. En el caso de Yabulu-

QNI, las menas importadas se corresponden con la situación de las plantas cubanas, y por tanto, tales tipos de pérdidas no son válidas.

Además de los trabajos mencionados sobre el régimen de aireación, se han realizado numerosas investigaciones a diferentes escalas a lo largo de estos años en Cuba y en el extranjero, ya sea en reactores con agitación mecánica aireados /9, 11, 18, 21, 25, 28/ o en reactores tubulares /2, 3, 4/ que han validado los fundamentos científicos expuestos, ya sea, en alguna de sus partes o en su totalidad.

Conclusiones

1. Se fundamentó que las medidas destinadas a la disminución de las pérdidas de Co por hidrólisis pueden representar un incremento de las extracciones máximas de Co en alrededor del 10-15 %, haciendo énfasis en la disminución de la temperatura de la pulpa en lixiviación para

- todas las plantas, y adicionalmente para las dos plantas cubanas con la optimización de la composición del licor lixiviante, se puede alcanzar un 17 %, además de un 2-3 % de Ni.
2. Se demostró que las pérdidas de Co por la formación de soluciones sólidas con la maghemita al inicio de la lixiviación puede minimizarse, mediante la disminución de la concentración de Co en el licor de contacto con la mena reducida, pudiendo alcanzar una reserva potencial de extracción entre 4-10 %, en dependencia de las condiciones particulares de cada planta.
 3. Se estableció una metodología para optimizar el flujo de aire específico, empleando el potencial redox de la pulpa y 4 gráficos como herramientas para tomar decisiones, que permiten perfeccionar el modo de operar el aire en dos fases: la primera, para determinar el flujo de aire en el 1er turbo, y la segunda para decidir si se mantiene este o hay que diferenciarlo en el resto de los turbos. Las diferencias en el régimen de aireación de cada planta dependerá de sus particularidades en cuanto al tipo de mena reducida, composición sustancial del licor lixiviante, así como la construcción y cantidad de turbos.
 4. Se demostró la necesidad de modificar el método para determinar los extractables de Ni y Co en las dos plantas cubanas para incrementar las reservas (no contabilizada actualmente) de sus extracciones en lixiviación, basado en la metodología de optimización del régimen de aireación (conclusión 2), que permitirá elevar los extractables de Co entre 3 – 8 % y los de Ni entre 3 % y menos que 1 %, en dependencia de la calidad de la mena reducida y su frecuencia de aparición durante el año. Dichas reservas productivas se le pueden acreditar a la disminución de las pérdidas por coprecipitación segregante del Co y el Ni con los OHH.
2. CASTELLANOS S. J. & GARCÍA, I.: “Aumento de la extracción de níquel y cobalto en el proceso carbonato amoniaco”, en *La Minería en Cuba*, No. 4, 1978, pp.58-61.
 3. CASTELLANOS S. J. & GARCÍA, I.: “Intensificación del Proceso CARON. Proceso NiLeach”, en *17th World Mining Congress. T 2, Acapulco, Octubre 1997*, pp. 91-97.
 4. CASTELLANOS, S. J. & ALVAREZ G. A.: “Hydrometallurgical Procedure for Nickel and Cobalt recovery”. Patente No. 59804/98.
 5. CHANG, A. R.; DOBROJOTOV, G. N.; BATISTA, H. R., et al: “Optimización de la composición de los licores carbonato-amoniacoales por NH₃ y CO₂ para la Lixiviación de minerales reducidos de Ni”, en *Minería y Geología*, vol.6, No. 2, 1988, pp.57-61.
 6. CHANG, A. R., RODRÍGUEZ, J. I.; DOBROJOTOV, G. N.: “Influencia del régimen de aireación sobre las extracciones de cobalto en la primera etapa de la lixiviación carbonato-amoniacoal de los minerales reducidos de Ni”, en *Minería y Geología*, vol.1, No.1, 1989, pp.51-62.
 7. CHANG, A. R.: “Perfeccionamiento de la tecnología de la empresa René Ramos Latour. Nicaro. Cuba”. [Instituto de Minas de Leningrado], Rusia. (Tesis Doctoral), 1989, 150 p. Traducido al español y depositado en el Fondo de la Academia de Ciencias de Cuba. La Habana. Cuba.
 8. CHANG, A. R.; BOBKOVSKI, A. G.; RODRÍGUEZ, J. I.; BELOGLAZOV, I. N.: “Estudio de las particularidades estructurales y composición de fase de los productos de la hidrólisis de los iones de hierro a partir de licores carbonato-amoniacoales”, en *Tsvetnie Metally*. No.9, 1995, pp.30-34 (en ruso).
 9. CHANG, A. R.; RODRÍGUEZ, J. I.; BELOGLAZOV, I. N.: “Cinética de la lixiviación carbonato - amoniacoal del mineral laterítico reducido industrialmente bajo aireación diferenciada”, en *Minería y Geología* , vol. XV, No. 3, 1998, pp. 23 - 29.
 10. CHANG, A. R.: “Una visión sobre las reservas estratégicas de Eficiencia Metalúrgica en la Tecnología carbonato – amoniacoal”, en *Minería y Geología*, vol. XVI, No.1, 1999, pp.76- 82.
 11. CHANG, A. R.: “¿Cómo extraer más Cobalto sin afectar Níquel en la lixiviación carbonato-amoniacoal de menas lateríticas reducidas?”, en *Minería y Geología*, vol. XVII, No.3-4, 2000, pp. 47-53.
 12. COLVIN N., GULYAS J. W.: “The Marinduque Surigao Nickel Refinery”, in *International Laterite Symposium, New Orleans, AIME, N.Y., 1979*, pp. 346 - 356.
 13. CÓNsul, A. M.; VAREKA, J. O.; ALEPÚ, H.: “Efecto de la concentración del NH₃ y CO₂ en la extracción del Níquel y del Cobalto”. Informe técnico. Prueba de planta Piloto, CEINNIQ, Nicaro, 1967.
 14. DOBROJOTOV G. N.: “Composición sustancial de

Bibliografía

1. BORBAT, V. F. & I. Yu., LEZH: *Nuevos Procesos en la Metalurgia del Ni y el Co*. Moscú, Ed. Metalurgia, 1976, 358 p. (en ruso).

- las mezclas carbonato - amoniacales”, en *Izv. Vuzov. Zvetnaya Metallurgia*, No. 6, 1986, pp. 71 – 75 (en ruso).
15. FIFFE, L. J. & GRANDA, O.: “ Mecanismo de disolución del níquel metálico en soluciones que contienen diferentes relaciones $\text{NH}_3 / \text{CO}_2$ ”, en *Rev. Cubana de Química*, vol. 1, No.1, 1985, pp. 31- 36.
 16. GRIGORIEVA, K. I.; VAILLANT, H. H.; CHANG, A. R.; DOBROJOTOV, G. N.: “Solubilidad del níquel y cobalto (II) en licores carbonato-amoniacaes”, en *Izv. Vuzov Zvetnaya Metallurgia*, No.1, 1987, pp.37-41 (en ruso).
 17. HAN, K. N: “A Kinetic model for leaching of cobalt metal powder in $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ Systems”, in *Hydrometallurgy*, No.6, 1981, pp. 227 – 238.
 18. OKAJIMA, Y.: “SMM ammonia leaching process for laterite ore”, in *Met. Rev. MMIJ*, vol. 3, No.1, 1986, pp. 94 - 106.
 19. OSSEO – ASARE, K.: “Adsorption phenomena in hydrometallurgy, 3 Model for Cooper, Nickel and Cobalt uptake by oxyde adsorbents in aqueous ammoniacal solutions”, in *Int. J. Mineral Processing*, No. 7, 1980, pp. 219 – 234.
 20. PEDLIK, M.: “Cinética de la lixiviación amoniacal del cobalto a partir de menas lateríticas ferroniquelíferas”, en *Nezelezné Kovy*, vol. 22, No.10, 1981, pp. 295-298 (en checoslovaco).
 21. QUENEAU P.B.& WEIR D.R.: “Control of iron during hydrometallurgical processing of nickeliferous laterite ores”, in *Iron control in Hydrometallurgy*, Dutrizac, J. E. & A. J. Mohemius, Eds., Ellis Horwood Ltd, Chichester. 1986, Ch.4, pp. 76-103.
 22. QUINTANA, S. R.; SAAVEDRA, C.; RODRÍGUEZ, G. R. et al.: “Reporte de la misión a Brazil-Venezuela por Che Guevara-CCN-UNi-MINBAS, 1999, 96 p.
 23. REID, J. G.: “Some observations of roasting, leaching, and washing characteristics of Greenvale lateritic ore”, in *Hydrometallurgy, Research, Development and Plant Practice*. AIME, New York, 1982, pp.109 - 120.
 24. REID, J. D. & FITTOCK, J. E.: “Yabulu, 25 years on”, in *Proceeding International Laterite Nickel Symposium, 2004*. Charlotte, North Carolina, USA, March 14-18, 2004, pp. 599-618.
 25. REZVANOV, G. F.: “Extracción de cobalto de las menas de BURUKTAL, empleando la tecnología hidro-metalúrgica”, en *Tsvetnie Metally*, No. 1, 1985, pp. 9 – 14 (en ruso).
 26. RODRÍGUEZ, G. R.; RODRIGUEZ, M.; ESTEVEZ, R.: “Informe sobre la visita de la Unión del Níquel a Australia”, 1992, 33 p.
 27. RODRÍGUEZ, G. R. et al.: “Informe de la visita del MINBAS a compañías productoras de Níquel en Australia”, 1998, 58 p.
 28. ROJAS, V. A.; TRUJILLO, M. A.; MAGAÑA, M. E.: “Intensificación del lixiviado de Cobalto en el Proceso de lixiviación carbonato amoniacal”. Informe Técnico, CEINNIQ, Nicaro, 2004.
 29. ROJAS, V. A.: “Metodología perfeccionada para determinar el Extractable de Ni y Co en la lixiviación carbonato-amoniacal”. [Universidad de Oriente], Santiago de Cuba. (Tesis de Master en Ingeniería Química), 2007, 108 p.
 30. SOBOL, S. L.: “Sobre el mecanismo de la precipitación secundaria del cobalto durante la lixiviación con soluciones amoniacaes de los minerales de níquel reducidos”, en *Rev. Tecnológica*, vol. 5, No. 4, 1967, pp. 3-12.
 31. VENTURA, H.: “Lixiviación con licor fresco y distintas relaciones NH_3/CO_2 ”. Reporte de investigación. Archivo de Planta Piloto, Nicaro, 1956.
 32. VU, C. & HAN, K. N.: “ Leaching behaviour of Cobalt in ammonia solutions”, in *Trans. Inst. Mining and Metallurgy*, C 86, Sep, 1977, pp. 119 -125.
 33. VU, C.; HAN, K. N., & LAWSON, F.: “Leaching behaviour of cobaltous and cobalto-cobaltic oxides in ammonia and in acid solutions”, in *Hydrometallurgy*, No. 6, 1980, pp. 75-87.
 34. ZELIKMAN, A. N.; VOLDMAN, G. M. & BELIAEVSKAYA, L. V.: *Teoría de los Procesos Hidrometalúrgicos*. Moscú, Ed. Metalurgia, 1983, 424 p. (en ruso).