

de la intensidad de las líneas 1,16 Å y 2,01 Å correspondientes al α -Fe [3], que no pueden ser confundidas con las de la magnetita y la maghemita por su aspecto e intensidad.

Esto confirma la reducción de los óxidos a hierro metálico que se evidenciaba desde los 573 K por el corrimiento de la línea de 1,17 Å hacia la de 1,16 Å.

Los posteriores incrementos de temperatura confirman lo anterior, ya que se intensifican las líneas

correspondientes al hierro metálico.

A las más altas temperaturas estudiadas, se observan también líneas características del β -Mn(2,10 Å y 1,237 Å), del α -Ti(1,24 Å y 1,275 Å) y del α -Mn(2,09 Å y 1,21 Å) [3].

La presencia de estas líneas puede ser explicada por la presencia de ilmenita en pequeña proporción en la muestra original estudiada, y también por la característica de la maghemita de incluir en su red diferentes elementos metálicos [6].

CONCLUSIONES

1. La muestra estudiada es rica en magnetita y maghemita con contenidos de otros óxidos en pequeñas proporciones.
2. La maghemita es inestable con relación a la magnetita en ambiente reductor, en contraposición con su inestabilidad respecto a la hematita en medio atmosférico.
3. La reducción de los óxidos de hierro a hierro metálico es prácticamente completa a temperaturas entre 673 K y 973 K.
4. La roca estudiada puede ser valorada como materia prima en la Industria Química, específicamente como posible catalizador de la síntesis del amoníaco.

REFERENCIAS

1. AZZAROFF, L.V. y M.J. BUERGER: *The powder method*. New York, Mc Graw-Hill, 1958.
2. CULLITY, B.O.: *Elements of x-ray diffraction*. La Habana, Editora Revolucionaria, 1971.
3. GORELIK, S.S.: *Análisis roentgenográfico*. Moscú, Ed. Nedra, 1970 (En ruso).
4. POTIEJIN, B.: "Condiciones óptimas para la obtención de roentgenogramas de metales". Curso de rayos-x. Dpto. de Física, U.C., 1972.
5. ROGKBY, H.P.: *The x-ray identification and crystal structures of clay minerals*. Londres, Ed. g. Drown, 1961.
6. SOBOL, S.I.: "Composición mineralógica de lateritas de Moa y su influencia sobre los procesos de lixiviación de mineral por ácido sulfúrico en autoclaves" en *Revista Tecnológica*. No.6, p. 5-6, 1968.

CDU: 543.843:546.171:66.0 (729.1)

ESTUDIO DE LA INTENSIFICACION DE LA LIXIVIACION CARBONATO-AMONIAL Y SU INTRODUCCION EN LA PRACTICA

C.Dr. José Castellanos S. Ing. Germán Álvarez R. Tec. Aurora Picayo M., Tec. Idania González F. Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM)

RESUMEN

En el presente artículo se abordan aspectos tales como la proposición del mecanismo de lixiviación en soluciones carbonato-amoniaca y la etapa cinética, que aparentemente limita la velocidad de disolución del níquel y cobalto. Se establecen y determinan las condiciones de intensificación del proceso de lixiviación. Con la inyección de CO_2 en la corriente de aire la extracción de níquel y cobalto se incrementa en un 5 % como mínimo, y se puede evitar la precipitación de sales de magnesio en reactores y tuberías lo cual disminuye la disolución del Fe^{2+} .

Se mostró la posibilidad de intensificar la lixiviación en un reactor tubular con alta extracción relativa de los metales (95-100 % Ni y 100-120 % Co) en un tiempo de 40 a 80 seg.

La introducción de los resultados de las investigaciones en la práctica permite mejorar los índices técnico-económicos del proceso, aumentar la producción de níquel y cobalto en 1 200 y 1 260 t al año respectivamente en una planta como Nicaro y obtener un efecto económico mínimo de una magnitud de 9 mm pesos.

ABSTRACT

The present article deals with topics such as the proposal of the leaching process for ammonium-carbonate solutions and the kinetic stage, which seemingly limits dissolution of Nickel and Cobalt. Conditions for intensification of the leaching process were determined and established.

By injecting CO_2 into the air stream, it is possible not only to increase the recovery of Nickel and Cobalt by 5 percent, but also to prevent precipitation of Sodium salts inside piping and reactors, which reduces the dissolution of Fe^{2+} .

It was shown the possibility of intensifying the leaching process in a tubular reactor, with a relative high extraction of metals (95-100 % Ni and 100-120 % Co) in a period of time from 40 to 80 seconds.

The implementation of the results of investigations allows improving the technical and economic parameters of the process, and increasing the Nickel and Cobalt output in 1 200 and 126 tons/year respectively, in a plant like "Nicaro", as well as obtaining a minimum economic effect of 9 mm pesos.

INTRODUCCION

En los últimos años se ha estudiado la lixiviación carbonato amoniacal del mineral reducido, parte importante de la tecnología carbonato amoniacal para la producción de níquel y cobalto. Los esfuerzos y direcciones seguidas en las investigaciones no rindieron los frutos esperados. Los intentos para intensificar el proceso, por ejemplo, en la planta Greenvalles, no dieron altos índices tecnológicos. La recuperación de los metales no ferrosos fue y es actualmente baja.

La lixiviación con altas concentraciones de amoníaco y dióxido de carbono (investigada en nuestro país [6]) conlleva a la disolución de una gran parte de hierro cuya magnitud, en solución oscila entre 10-12 g/L. La separación del hierro de las soluciones va acompañada con pérdidas de los metales. Otras variantes como intensificación de la aereación [10], disminución del tiempo de lixiviación [8] y estudio de la aplicación del potencial redox aún no ofrecen resultados satisfactorios.

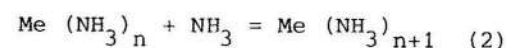
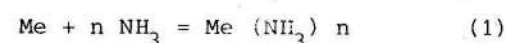
La investigación y aplicación del potencial redox para controlar el proceso data de los años 1955. La variación del potencial con el grado de reducción del mineral y su composición química y mineralógica no ha permitido su generalización y aplicación a escala industrial.

En las investigaciones realizadas anteriormente no se prestó atención a los aspectos científico-técnicos de la lixiviación y su interrelación con la aplicación industrial.

En este trabajo se revisa el mecanismo de lixiviación y las etapas que limitan la cinética de disolución en condiciones industriales. Se estudia la intensificación del proceso, mejorando la transferencia de masa en la interfase de reacción empleando gases oxidantes contentivos en dióxido de carbono, y mediante un nuevo procedimiento (el reactor tubular) modificando el patrón de flujo y las condiciones dinámicas de intercambio de los reaccionamientos en la interfase de reacción.

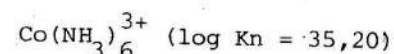
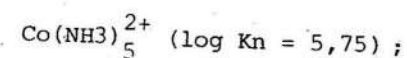
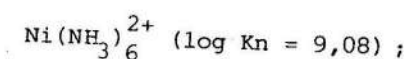
Aspectos Teóricos

Los metales tienen la propiedad de formar complejos amoniacales de acuerdo con las reacciones:



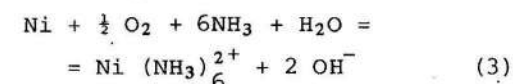
donde: Me representa el catión del metal

En el proceso carbonato amoniacal tiene interés el comportamiento de los metales (Ni, Co, Fe, Mg) en medio amoniacal. Los complejos de los metales (Ni y Co) más estables en medio amoniacal son:



El hierro forma complejos metaestable $\text{FeCO}_3(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, que por oxidación e hidrólisis se transforman en hidróxidos. La existencia de una especie o cantidad de complejo está en función del pH, concentración de NH_3 , CO_2 , Ni, Co, potencial redox del sistema.

La disolución de las formas activas del níquel y cobalto presentes en el mineral reducido ocurren durante la lixiviación del mismo con una solución carbonato amoniacal en presencia de aire. Por ejemplo la formación del amiacato de níquel se puede representar esquemáticamente por la reacción:



Como es conocido, la etapa cinética controladora es la difusión, por lo que un aumento de la cantidad de oxígeno disuelto con un cambio simultáneo en el gradiente de concentración de NH_3 y CO_2 en la interfase de reacción aumenta la velocidad de disolución de los metales. Para cada concentración de NH_3 y CO_2 existe una presión parcial de oxígeno crítica, para la cual la velocidad de disolución de los metales alcanza valores máximos.

Forward [5] basado en trabajos experimentales propuso la siguiente expresión para la velocidad de disolución del níquel:

$$J(\text{Ni}) = K P_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Aunque este investigador no discute en detalles estos resultados, se puede demostrar que esta expresión se cumple cuando el proceso ocurre en la región limitada por los fenómenos químicos.

En general, la velocidad de disolución de los metales estará controlada por la difusión externa del oxígeno hacia la interfase de reacción, por la presión parcial del oxígeno o por la difusión de los reaccionantes hacia la interfase de reacción.

En la práctica cuando la concentración de los reactivos sea superior que la crítica, el proceso es controlado por la difusión del oxígeno hacia la interfase de reacción. Si la intensidad de agitación y mezclado es alta, la absorción de oxígeno no limita el proceso, y este puede ocurrir en la región limitada por los fenómenos químicos.

La interrelación entre la concentración en la solución y la interfase de reacción se puede determinar de acuerdo con la expresión (3).

Si la concentración de oxígeno es mucho más pequeña que la de amoníaco en la solución, la concentración de O_2 en la interfase de reacción será prácticamente cero

y la concentración de amoníaco estará próxima a la concentración de la solución [5]. En este caso la difusión de oxígeno hacia la interfase controla la velocidad de disolución de los metales y viene dada por la expresión:

$$j(\text{Ni}) = 2 j(\text{O}_2) = 2 \frac{D_{\text{O}_2}}{\gamma_{\text{O}_2}} \cdot C_{\text{O}_2} \quad (5)$$

donde:

D_{O_2} - coeficiente de difusividad;

γ - espesor efectivo de la película de líquido (o como se conoce doble capa) donde ocurre la difusión.

La concentración de amoníaco en la interfase puede calcularse por:

$$j(\text{Ni}) = \frac{1}{6} \frac{D_{\text{NH}_3}}{\gamma_{\text{NH}_3}} (C_{\text{O}_2} - C_{\text{O}_2}^{\text{interfase}})$$

$$C_{\text{O}_2}^{\text{interfase}} = 2 \frac{D_{\text{O}_2}}{\gamma_{\text{O}_2}} C_{\text{O}_2} \quad (6)$$

$C_{\text{O}_2}^{\text{interfase}} =$

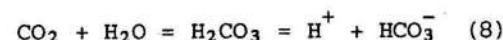
$$\frac{D_{\text{NH}_3}}{\gamma_{\text{NH}_3}} \left[\frac{D_{\text{NH}_3}}{\gamma_{\text{NH}_3}} C_{\text{O}_2} - 12 \frac{D_{\text{O}_2} C_{\text{O}_2}}{\gamma_{\text{O}_2}} \right]$$

Un aumento de la concentración de oxígeno en la solución incrementa la velocidad de disolución del níquel. Esto conlleva a una disminución de la concentración de NH_3 en la interfase de reacción. A su vez, la disminución de la concentración de amoníaco en la solución por arrastre (con el aire) provoca una caída en la velocidad de disolución del níquel (expresión 7).

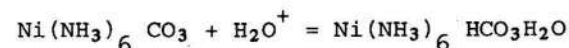
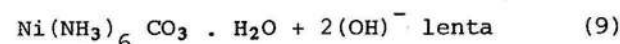
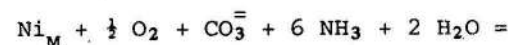
Con la finalidad de mejorar los rendimientos del proceso se propuso investigar dos variantes tecnológicas: la primera variante- la lixiviación en un reactor convencional con agitación mecánica empleando una mezcla de gases oxidantes (aire + CO_2) [1], y la segunda- la lixiviación en un reactor tubular, [2] el que garantiza un incremento sustancial de la absorción y difusión del oxígeno, un aumento del área interfacial y de contacto.

La elaboración de los resultados experimentales de la primera variante permitió proponer un mecanismo de reacción. El mecanismo propuesto se puede representar esquemáticamente para la interfase de reacción de la forma siguiente:

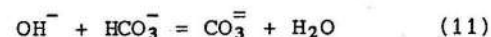
Primera etapa:



Segunda etapa:



Tercera etapa:



El proceso está controlado por la reacción (10) y la etapa controladora será la difusión del O_2 o CO_3^{2-} (o sus formas) hacia la interfase.

Los resultados experimentales de la influencia de la presión parcial de CO_2 en el gas oxidante sobre la velocidad de disolución se corresponden con el modelo matemático típico [11], cuando controla la difusión externa (Figura 1). Para una presión parcial de CO_2 superior que la crítica

(8-9 % Vol.) la velocidad de disolución está limitada por la presión parcial de oxígeno. Para presiones parciales de CO_2 menores, la velocidad de disolución está limitada por el régimen de difusión externa del CO_2 (o sus formas) hacia la interfase de reacción.

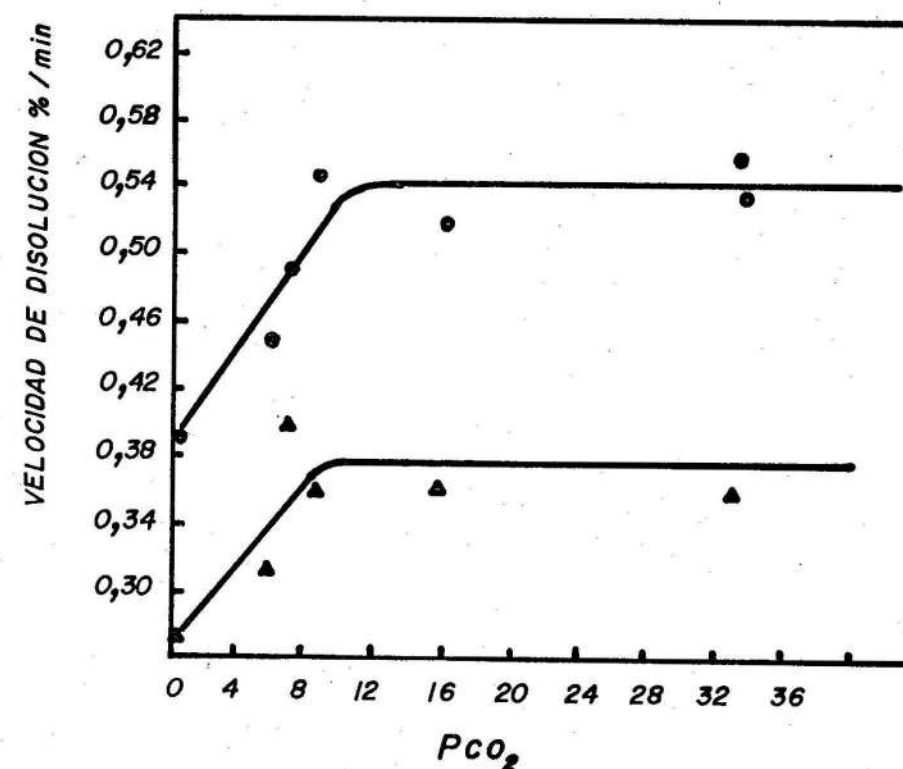
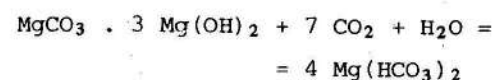


FIG. 1 DEPENDENCIA DE LA VELOCIDAD DE DISOLUCION DE LOS METALES EN LA SOLUCION CARBONATO AMONIAL DE LA PRESION PARCIAL DE CO_2 EN LA MEZCLA GASEOSA

El empleo del CO_2 en la mezcla favorece la disolución del MgO y potencialmente debe evitar la

formación de costras en las tuberías y reactores de acuerdo con la reacción [9]:



La segunda variante se fundamenta en las investigaciones realizadas sobre la mecánica de los fluidos en sistemas aire-pulpa-amoniaca en un reactor tubular [3] .

El patrón de flujo anular (y anular-ola) (figura 2) se caracteriza por la formación de una película de líquido en forma anular que se mueve alrededor de una corriente gaseosa.

La transferencia de masa puede ocurrir por tres fenómenos: transferencia por difusión entre el nú-

cleo y el anulo líquido, transferencia por difusión entre el núcleo de gas, las gotas arrastradas y el intercambio del líquido entre el núcleo gaseoso y el anulo. Un estimado del coeficiente de transferencia de masa se puede realizar asumiendo que el flujo anular se comporta como el flujo de película líquida por las paredes de una tubería. Bajo las condiciones de este patrón de flujo, la resistencia cinética por difusión disminuye a un mínimo, lo que permite acelerar el proceso de oxidación de las formas activas de los metales no ferrosos y su paso a la solución en forma de complejo.

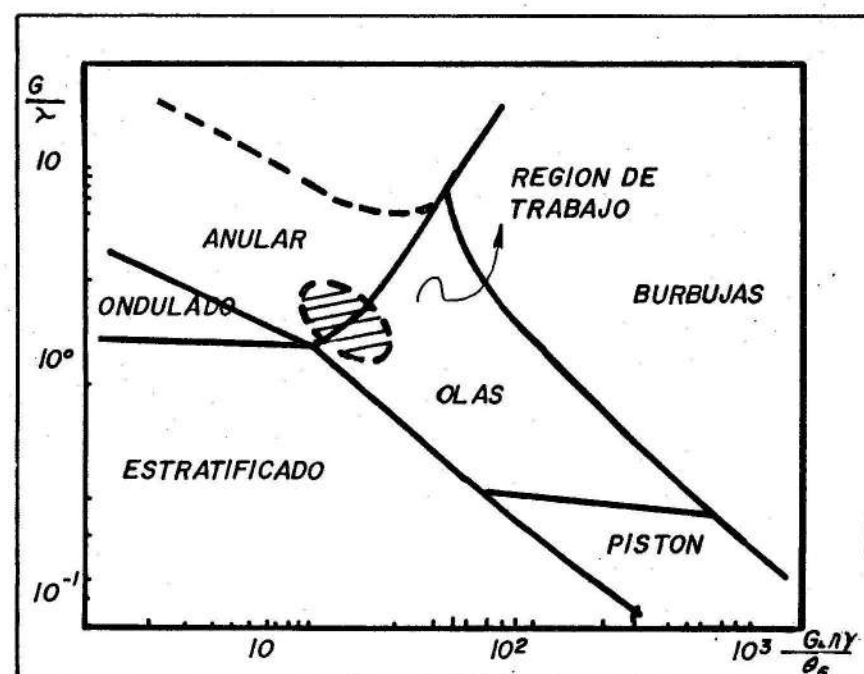


FIG.2 RESULTADOS DE LOS PATRONES OBTENIDOS EN EL SISTEMA AIRE-PULPA AMONIACA/9/

Metodología de la Investigación

En la investigación se estudiaron diferentes muestras de mineral reducido de los yacimientos Pinares de Mayarí, Martí y Punta Gorda.

La composición química del mineral reducido y el licor lixivante aparecen en la tabla 1 y 2 .

El estudio de la lixiviación con mezcla de aire + CO_2 se realizó en un reactor agitado. Los consumos de aire y CO_2 se midieron con rotámetros con una exactitud de $\pm 5 \text{ mL/min}$. y la composición se controló por análisis del gas por el método Orsat. La exactitud era $\pm 0,2 \%$, en volumen. La relación L: S = 5:1 y la temperatura fue 30°C .

El mineral reducido 100 % - 74 % se mezclaba con el licor amoniacal.

Las investigaciones de la lixiviación amoniaca del mineral níquelífero por el procedimiento nuevo se realizaron en un reactor tubular en circuito cerrado (Fig. 3) y en un reactor abierto a mayor escala.

El reactor abierto estaba provisto de formas de muestra a lo largo del mismo, para estudiar la cinética de disolución de los metales no ferrosos.

La pulpa se preparaba en atmósfera inerte y su flujo se establecía

TABLA Nº.1 COMPOSICION DEL MINERAL REDUCIDO

| Mineral | Composición % | | | Extracción, QT, % | |
|---------|---------------|-----------|-------|-------------------|-------|
| | Ni | Co | Fe | Ni | Co |
| 1 | 1,39 | 0,112 | 55 | 73,8 | 56,7 |
| 2 | 1,37 | 0,092 | 44,9 | 81,5 | 57,2 |
| 3 | 1,13-1,37 | 0,11-0,14 | 45-47 | 78-79 | 35-60 |

QT - Lixiviación estándar (de control)

TABLA Nº.2 COMPOSICION DEL LICOR LIXIVIANTE

| Tipo | Composición g/L | | | |
|------------------------|-----------------|----|---------------|---------------|
| | Ni | Co | NH_3 | CO_2 |
| Licor de contacto (LC) | 9 | 0 | 65 | 35 |
| Licor fuerte (LF) | 0 | 0 | 100 | 70 |

mediante una bomba peristáltica de flujo regulable. El consumo de aire se medía con un rotámetro. La oscilación en el consumo era ± 10 cc/min.

dante permite aumentar la extracción de níquel y cobalto (fig. 4, 5, 6, 7, 8) con un grado de significación mayor de 95 %.

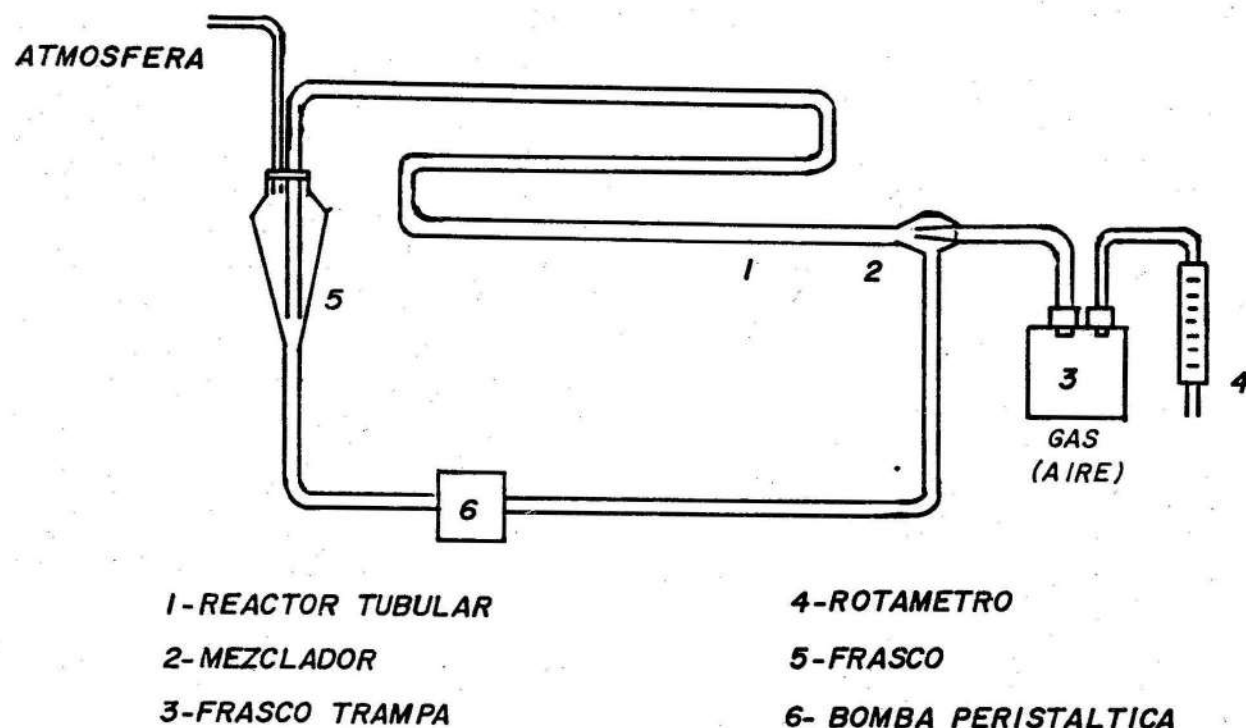


FIG. 3 INSTALACION DE LABORATORIO UTILIZADA DURANTE LA INVESTIGACION

El rango de los parámetros se estableció teniendo en consideración la formación del patrón de flujo-anular y el anular-ola [3]. La cantidad elemental extractable se valoró por la lixiviación standard (QT). La lixiviación se realizó en dos molinos de bolas con licor fuerte. La relación L:S=10:1 y el tiempo de lixiviación 2 h.

Desarrollo de la Investigación

Las investigaciones se realizaron por la técnica moderna de diseño de experimento. La presencia de dióxido de carbono en el gas oxi-

La lixiviación del mineral por líquidos de contacto (con una composición (g/L): 65 NH_3 , 35 CO_2 , 9 Ni) resultó ser más efectiva cuando se inyectó la mezcla aire + CO_2 . Con el licor fuerte (NH_3 - 100 g/L y CO_2 - 70 g/L) los resultados fueron similares pero menos significativos. Se demostró que con la inyección de CO_2 era factible disminuir el consumo de aire (Fig. 9 y 10), por lo que es de esperar una reducción en las pérdidas de amoníaco en el sistema.

En las condiciones en que se rea-

lizaron las investigaciones se estableció la posibilidad de incrementar la extracción de níquel y cobalto en no menos de 5 % cuando el gas oxidante contiene 7-10 % CO_2 .

El empleo de la mezcla contentiva de CO_2 aumenta la velocidad de disolución del magnesio en 1,15 a 2 veces (tabla 3), lo que debe evitar la formación de costras en los reactores y tuberías de acuerdo con la reacción.

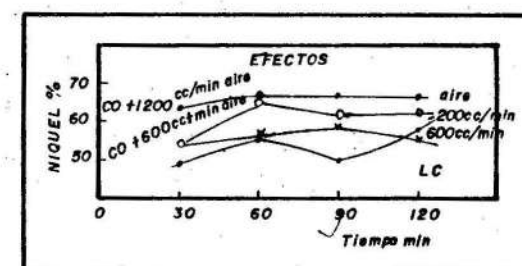
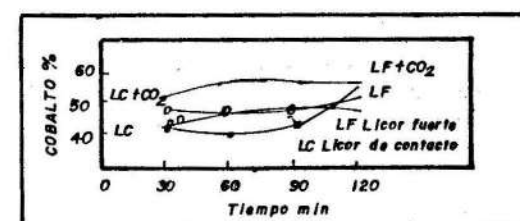
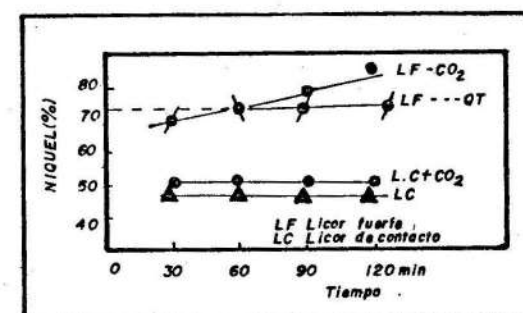


FIG. 6 MATRIZ DE LIXIVIACION N°2 MINERAL N°1 CINETICA DEL NIQUEL

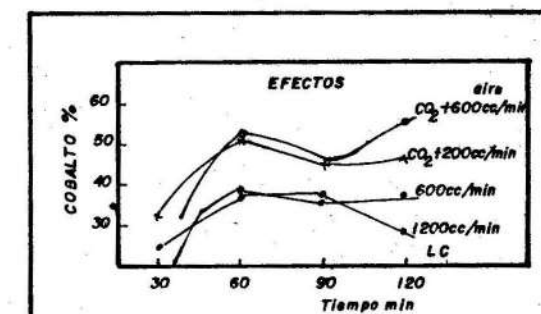


FIG. 7 MATRIZ DE LIXIVIACION N°2 MINERAL N°1 CINETICA DE COBALTO

| (Aire 600 cc/min) | | | |
|--|-------|-------|-------------------------------|
| | Nivel | Curva | X ₁ X ₂ |
| Licor fresco (x ₁) | 1 | + | + |
| Licor de contacto (x ₂) | 2 | + | - |
| CO ₂ cc/min (x ₃) | 3 | - | - |
| CO ₂ 0 cc/min (x ₄) | 4 | - | - |

FIG. 8 CINETICA DE LIXIVIACION DEL MINERAL REDUCIDO DE NICARO N°2

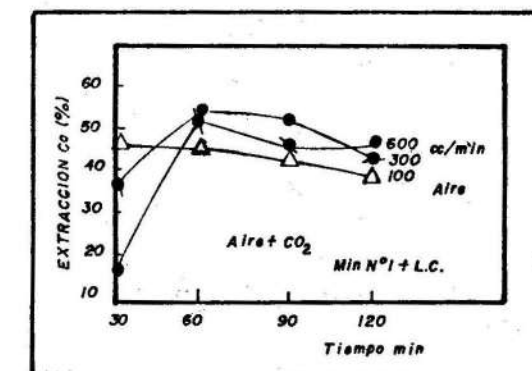


FIG. 9 INFLUENCIA DE LA ADICION DE AIRE SOBRE LA EXTRACCION DEL COBALTO

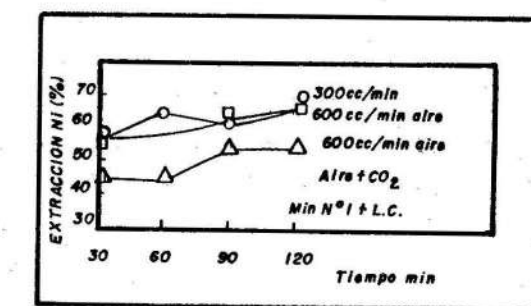
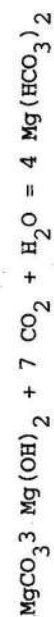


FIG. 10 INFLUENCIA DE LA ADICION DE AIRE SOBRE LA EXTRACCION DE NIQUEL

TABLA N.º 3 INFLUENCIA DE LA MEZCLA GASEOSA (AIRE + CO₂) SOBRE LA VELOCIDAD DE DISOLUCION DEL MAGNESIO

| Mezcla gaseosa | Consumo de aire (cc/min) | Licor lixi-viante | Velocidad de disol. g/m ² sln |
|------------------------|--------------------------|-------------------|--|
| Aire + CO ₂ | 600 | Licor fuerte | 59,5 |
| Aire | 600 | L.F. | 50 |
| Aire + CO ₂ | 600 | Licor contacto | 25 |
| Aire | 600 | Licor contacto | 12 |
| Aire + CO ₂ | 1 200 | Licor contacto | 16 |
| Aire | 1 200 | Licor contacto | 14 |

Comentario: El grado de significación del efecto del CO₂ sobre la velocidad de disol. del magnesio es mayor de 90 %



Durante la lixiviación con la mezcla gaseosa el contenido de Fe²⁺ en solución disminuyó.

Lixiviación en un reactor tubular

En la investigación se estableció que el contenido de amoníaco y dióxido de carbono en el licor lixivante es la etapa limitante de la extracción máxima. Con concentraciones altas (NH₃ y CO₂) la velocidad de disolución, y por con-

siguiente la extracción absoluta de los metales se supone que depende de la difusión del oxígeno hacia la interfase de reacción. A concentraciones bajas de NH₃ y CO₂ la cinética de disolución está determinada por la velocidad de paso de los cationes a la solución (en forma de complejos).

Por ejemplo: la lixiviación del mineral reducido con una relación 10:1 , tiempo - 72 seg y concentración de 90 g/L NH₃ y 45 g/L CO₂ la extracción cae del 81,6 a 73,7 % Ni .

La dependencia de la extracción de los metales no ferrosos en función del consumo de aire tiene un máximo de 9 l/min de aire (Fig. 11). La presencia de níquel y cobalto en la solución lixivante baja la extracción total de níquel y cobalto. Por ejemplo con un incremento de 0 a 9 g/L la extracción de níquel disminuye de 79,9 a 77,4 % (en este caso la extracción por QT es 82,5 %). Mientras que para el cobalto cae de 52,2 a 43 % siendo por QT - 35,4 % . Estos resultados están de acuerdo con la

disminución de la concentración de amoníaco libre (no acomplexado), y por consiguiente del amoníaco disponible en la interfase de reacción. La lixiviación con licores contentivos hasta 1,5-2,6 g/L Ni y 0, 14 g/L Co ofrecen una extracción alta de níquel (81 %) y de cobalto (51,8 %).

Se estableció que la extracción de cobalto estaba en función del grado de reducción del mineral, o sea, minerales con un alto grado de metalización (valorado por QT) dan extracciones relativas más bajas.

Los resultados de la cinética de lixiviación de distintos minerales reducidos demostraron que la extracción máxima de los metales

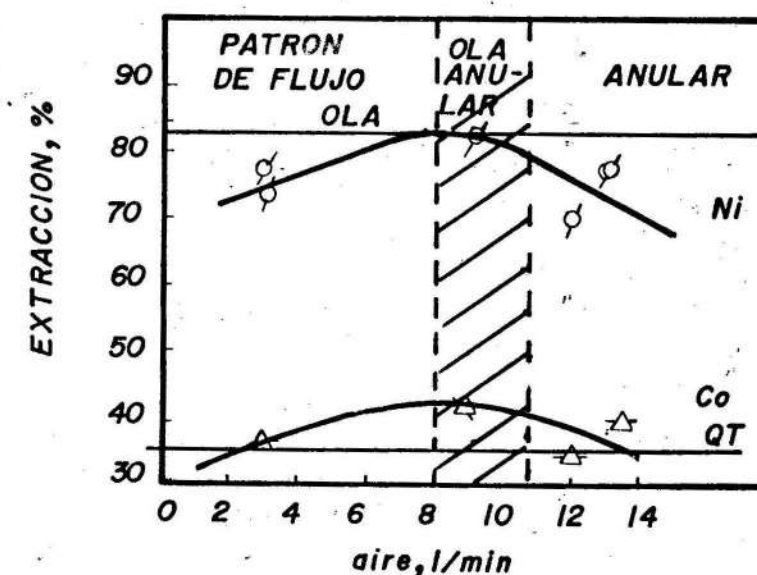
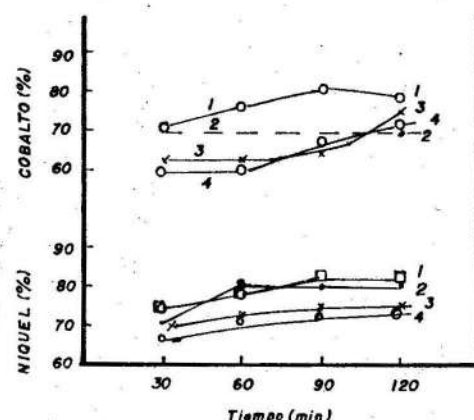


FIG. II INFLUENCIA DEL CONSUMO DE AIRE SOBRE LA EXTRACCION EN LICOR CARB. - AMONIACAL (LF) FLUJO PULPA-250cc/min

TIEMPO DE LIXIVIACION-72 seg, L:S = 10:1

no ferrosos se alcanza en tiempos de lixiviación de 40-80 seg (Fig. 12). La velocidad media de disolución del níquel es 65 g/min y para el cobalto 2,16 g/min. Estas velocidades son 65 (Ni) y 216 (Co) veces superiores que las que se obtienen por el proceso de lixiviación convencional [4].



Los resultados de la lixiviación en las condiciones óptimas demostraron que puede extraerse el 95-100 % y del 100-104 % del Ni y Co respectivamente de acuerdo con la prueba de control (QT) (Tabla 4).

Las pruebas en un reactor a mayor escala confirmaron los resultados anteriores. En las condiciones estudiadas se estableció la factibilidad de alcanzar una extracción de cobalto de 100-120 % de la obtenida por QT.

Discusión de los resultados

Se estableció que un cambio sustancial en las condiciones de operación, que garantice un incremento en la concentración del amoníaco y el dióxido de carbono en la

TABLA Nº.4 RESULTADOS DE LA LIXIVIACIÓN EN CONDICIONES ÓPTIMAS L:S = 10:1, CONSUMO DE AIRE 9 L/MIN, TIEMPO-72 SEG.

| Procedimiento | Extracción, % | |
|---------------|---------------|--------------|
| | Ni | Co |
| QT | 84,5 | 52,3 |
| RT | 83,5 | 55,6 |
| " | 81,0 | 54,7 |
| " | 81,5 | 54,8 |
| Media | 81,0 (97 A) | 54,7 (104 A) |

A. Eficiencia, %

interfase permite intensificar el proceso. La alternativa de emplear mezcla de aire + CO₂ y amoníaco ofrece mejores índices tecnológicos que la variante de lixiviación con altas concentraciones [6]. Esto se explica, por que la transferencia de masa por difusión, en la película de líquido que rodea a las partículas del mineral aumenta por un incremento sustancial de la concentración de CO₂ en la interfase gas-líquido. La segunda alternativa de intensificación de la lixiviación amoniacal (lixiviación en un reactor

tubular en el régimen anular, o anular-ola) se caracteriza por una alta observación de O₂ y alta concentración en la interfase, gran turbulencia en el ánulo de pulpa que se mueve alrededor del núcleo de aire y alta transferencia de masa entre las gotas de pulpa arrastrada y suspendida en la corriente gaseosa, que se mueve arbitrariamente en régimen turbulento.

El patrón de flujo establecido en el reactor tubular reduce significativamente el espesor de la película gaseosa y líquida que rodea las películas de mineral. La velocidad de los metales es inversamente proporcional al espesor de la película (γ) de acuerdo con la expresión siguiente [11].

$$j = D_i \frac{C_o - C_i}{\gamma}$$

y por tanto la velocidad aumenta en las condiciones experimentales impuestas.

Por otra parte, la corriente gaseosa que se mueve más rápidamente que la pulpa mantiene un intercambio dinámico de los reactivos (NH₃, CO₂, O₂) entre ambas fases. En este caso se garantizan altas concentraciones de los reactivos en la interfase de reacción, lo que justifica el incremento en la velocidad de disolución del níquel y cobalto en más de 60 veces con respecto al proceso convencional. En las condiciones del reactor tubular la concentración de O₂ es

alta y la etapa que limita aparentemente el proceso es la difusión del NH₃, y CO₂ hacia la interfase de reacción. De acuerdo con esto, la lixiviación con altas concentraciones de NH₃ y CO₂ o con gases contentivos en estos componentes permite alcanzar las extracciones máximas de los metales no ferrosos en un tiempo espacial relativamente pequeño 40-80 seg.

La velocidad de disolución del níquel y el cobalto es mucho más alta que la del hierro (en forma Fe²⁺), y que la velocidad de adsorción de estos cationes de la solución embebida en la voluminosa y extensa superficie del hidróxido de hierro recién precipitado. De esta manera las pérdidas de níquel y sobre todo de cobalto son mínimas, lo que justifica la alta extracción de este metal en comparación con la lixiviación de control.

Introducción de los resultados de las investigaciones en la práctica social

En las investigaciones sobre la lixiviación con mezclas (aire + CO₂) se estableció que el contenido óptimo de CO₂ es de 8-9 %. En la práctica es factible preparar la mezcla de gases recirculando los gases residuales (después de lavados) de los hornos de reducción al sistema.

La mezcla apropiada con aire permite obtener la concentración deseada de CO₂. La lixiviación con una mezcla contentiva de CO₂ en 8-9 % CO₂ garantiza como mínimo

un incremento en la extracción de níquel y cobalto en 5 %. Los cálculos económicos preliminares indican que este incremento en la extracción para una planta procesando 2 300 000 t de mineral por año con un contenido de 1,39 % de Ni y 0,112 % Co será de 1 200 t Ni/año y 126 t Co/año. Con el precio actual del níquel de \$ 7 500/t Ni, este incremento en la producción dará 9 MM pesos sin considerar la ganancia correspondiente al aumento de la producción de cobalto.

El empleo del reactor tubular es perspectivo y tiene las ventajas siguientes:

- Es fácil de introducir pues consiste fundamentalmente de una tubería con hidrociclones a la descarga.
- El reactor no tiene piezas móviles por lo que tiene costos de mantenimiento pequeños.
- Puede introducirse directamente en la línea de bombeo de la pulpa a la primera etapa la que puede eliminarse o emplearse como segunda etapa complementaria.
- Permite aumentar la extracción de níquel y significativamente la de cobalto.
- En una sola etapa puede extraerse todo o la mayor parte del níquel y cobalto.
- La disolución del hierro (0,13 g/L) y magnesio (0,017 g/L) es baja a 30 °C.

- El volumen del reactor es 8-10 veces menor que el de un reactor con agitación mecánica [7] por lo que la inversión es pequeña.
- El costo de mantenimiento y de operación es más pequeño [7], así como el consumo de energía.

En la actualidad el reactor tubular está en estudio económico y propuesto para comprobación a escala piloto con la finalidad de su introducción en la práctica.

Por otra parte, los resultados obtenidos en las investigaciones constituyen la base científico-técnica para el desarrollo y perfeccionamiento de los reactores convencionales, y establecen nuevas concepciones en el diseño de los reactores empleados en este proceso. El nuevo diseño de este turboaerador debe basarse en la creación de corrientes gaseosas, alrededor de las cuales se desplaza la pulpa en régimen turbulento. La concepción de una mayor dispersión del aire y mejor absorción no garantiza altos índices.

En las condiciones prácticas debe existir un intercambio dinámico directo entre la película de aire y la interfase de reacción lo que se logra transformando el turboaerador en un equipo constituido por infinitos reactores tubulares.

Bajo estas condiciones es posible alcanzar la máxima velocidad de disolución de los metales y la extracción absoluta en tiempos de lixiviación relativamente cortos.

CONCLUSIONES

Las investigaciones realizadas a escala de laboratorio, y a mayor escala permitieron elaborar una explicación científica de algunos aspectos del proceso, y llevar a la práctica la intensificación de la tecnología de lixiviación amoniacal.

Un incremento excesivo en el consumo de aire, aunque en algunos casos mejora la absorción de oxígeno, baja la extracción de los metales. Esto se explica por una disminución en la concentración de NH_3 y CO_2 en la solución y en consecuencia en la interfase.

De los resultados industriales y de laboratorio, se infiere que la velocidad de disolución de los metales está limitada, aparentemente, por la difusión externa del oxígeno a los reactivos (NH_3 y CO_2) hacia la interfase.

La introducción de una mezcla (aire + CO_2 y NH_3) aumenta la velocidad de disolución de los metales y en consecuencia la extracción absoluta del níquel y el cobalto en 5 % como mínimo (en condiciones de primera etapa). El aumento es mayor al lixiviar licores con altas concentraciones de reactivos.

La introducción de los resultados de la investigación en una planta como Nicaro permitirá aumentar la producción en 1 200 t Ni/año y 126 t Co/año con efecto económico superior a 9 MM pesos por concepto del níquel. La inversión re-

querida es pequeña, y se sugiere utilizar como fuente suministradora de CO_2 los gases residuales de los hornos de reducción.

El análisis científico-técnico experimental de la lixiviación permitió proponer el mecanismo del proceso y sugerir cambios en la concepción actual de la lixiviación en reactores agitados y sustituirlos por el procedimiento de lixiviación en un reactor tipo tubular más eficiente. En este reactor se alcanza una extracción relativa de 95-100 % para el Níquel y de 100-120 % para el Cobalto en comparación con 95-97 % Ni y Co por el proceso convencional.

BIBLIOGRAFIA

1. CASTELLANOS SUAREZ, J.: Patente N°. 34 616, 2 2.10.76.
2. _____: Patente cubana N°. 34 617, 22.10.76.
3. _____; G.A. ALVAREZ y Otros: "Estudio de la mecánica de fluido en un sistema de tres fases con un reactor tubular". CIPIM, 1977.
4. _____: Tesis de Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas. Instituto de Minas de Leningrado. CIPIM 1981.
5. EVANS, H.T.: *The theoretical background of the Nicaro process*, Nickel processing corporation of New York. 1954.
6. HERRERA, V y J. VARECA: "Lixiviación con altas concentraciones de amoníaco y CO_2 ". Reporte Técnico, CIPIM, 1969.
7. LEVENSPIEL, O: *Chemical Reaction Engineering*. La Habana. Editora Revolucionaria, 1966.
8. REZBANOV, G.: *Lixiviación del mineral reducido de Punta Gorda*. Reporte Técnico, 1977.
9. _____: Estudio de la posibilidad de limpieza de costras en los equipos de la fábrica de Nicaro. CIPIM, 1977.

10. RODRIGUEZ, R y J. CASTELLANOS: Estudio de la intensificación de la agitación en los turboaeradores industriales. *Nicaró*, 1969.

11. ZELIKMAN, A.H.: *Teoría de los procesos hidrometalúrgicos*. Moscú. Editorial Mir, 1975.

© REVISTA MINERIA Y GEOLOGIA, 3-85

CDU: 54.06:669.214-032.42 (729.1)

CONVOCATORIA

La Unión de Empresas del Níquel y el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa convocan a participar en el III Encuentro Científico-Técnico del Níquel que se celebrará en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa durante los días 18, 19 y 20 de diciembre de 1986, paralelamente a un seminario-internacional sobre la Tecnología Carbonato-Amónica.

PARTICIPACION

Podrán participar los técnicos, especialistas y todo aquel personal de Centros de Investigación, Centros Universitarios y de la Industria que desarrollen trabajos vinculados a la rama minero-metalúrgica.

Solicite su modelo de inscripción a:
C.Dr. Ing. José Falcón Hernández
Comisión Organizadora del III Encuentro Científico Técnico del Níquel
Instituto Superior Minero Metalúrgico
Moa, Holguín, CUBA
Teléfonos: 6-8218, 6-7300 y 6-7909

REQUISITOS PARA LA PRESENTACION DE RESUMENES

Los resúmenes deben tener una extensión no mayor de 300 palabras, mecanografiadas a dos espacios en papel 215 x 280 mm, con original y copia; márgenes laterales, superiores e inferiores de 30 mm, sin tachaduras, borrones o enmiendas.

CALENDARIO

| | |
|--|----------------|
| Envío de resúmenes | Hasta 30-5-86 |
| Notificación a los autores de la aceptación de los resúmenes | Hasta 15-7-86 |
| Envío de los trabajos | Hasta 15-9-86 |
| Notificación a los autores de la aceptación de los trabajos | Hasta 15-11-86 |

TEMATICAS

- Geología e Ingeniería Geológica de los yacimientos de corteza de intemperismo.
- Métodos de explotación de los yacimientos de corteza de intemperismo.
- Procesos metalúrgicos para la obtención de Ni y Co a partir de minas oxidadas.
- Instrumentación y automatización de los procesos metalúrgicos.
- Ahorro energético y de materias primas en la producción de níquel y cobalto.
- Instalaciones, montaje, mantenimiento y reparación de plantas metalúrgicas.
- Técnicas de análisis químicos y físicos en la industria del níquel.
- Economía del proceso integral de producción de Ni y Co a partir de menas oxidadas.
- Investigaciones sobre procesos metalúrgicos.
- Aplicación de la computación en la rama minero-metalúrgica.

DETERMINACION DE LA LEY DE UNA MENA AURIFERA

Ing. Miguel Pelegrín R. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Jorge Chiong S. Instituto Superior Minero Metalúrgico.

RESUMEN

Se determinó la ley de una mena aurífera empleando la metodología de ensayo por fuego, para separar el oro y la plata de la ganga.

Se obtuvieron resultados con un alto grado de precisión, por lo que esta metodología puede ser empleada para determinar los valores metálicos de cualquier mena de este tipo.

ABSTRACT

The grade of an auriferous ore was determined by using the fire testing methodology to separate gold and silver from gangue.

High precision results were obtained, therefore, this methodology can be used to determine the metal values of any ore, of this kind.

INTRODUCCION

La determinación de los valores metálicos de una mena (ley de la mena) constituye una labor cotidiana de estratégica importancia para el desarrollo de las labores de cualquier instalación industrial metalúrgica. Por esto es necesario darle la prioridad requerida a este tipo de ensayo metalúrgico, puesto que sus aciertos y precisiones inciden directamente en la dirección y decisiones de

la prospección geológica, mediante la cual se localiza la veta del mineral, extraer, preparar y enviar el mineral hacia la planta procesadora. Únicamente a través de estos experimentos previos de las muestras de mineral se puede establecer si se está procesando el mineral apropiado. Aquí un error o inexactitud conduce a gastos estériles de la empresa y a una proyección errónea en las exploraciones geológicas.