

Señora Jefe
 División de Nuevas Creaciones
 Superintendencia de Industria y Comercio
 E. S. D.

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 06-119666-00009-0000

Fecha: 2011-04-05 15:14:34 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
 Tra. 2 PATENTES Eve: 1 REGDEPOSITO
 Act. 523 RESPUESTA Folios: 32

Referencia: Solicitud de patente de invención
Título: Proceso para la extracción de níquel, cobalto y otros metales base de menas de laterita mediante usar lixiviado por acumulación y el producto que contiene níquel, cobalto y otros metales de menas de latería
Solicitante: Companhia Vale do Rio Doce
Expediente No. 06-119.666
Asunto: Respuesta al requerimiento formulado mediante Oficio No. 15196

Yo, JESÚS M. MÉNDEZ BERMÚDEZ, identificado con la cédula de ciudadanía No. 13.491.525 de Cúcuta y con Tarjeta Profesional de Abogado No. 99.678 expedida por el Consejo Superior de la Judicatura, actuando como apoderado de la sociedad COMPANHIA VALE DO RIO DOCE, por medio del presente memorial amablemente me permito dar respuesta al requerimiento formulado por su Despacho dentro del proceso de la referencia mediante Oficio No. 15196 del 25 de noviembre de 2010.

Como primera medida, es importante anotar que el día 21 de febrero del presente año radique ante su Despacho una solicitud de ampliación de término para dar respuesta al mencionado requerimiento y pague la tasa establecida para dicho propósito.

Ahora bien, en cuanto a las observaciones realizadas por el examinador en el Oficio No. 15196 amablemente me permito manifestar:

1. En la descripción.

Presento junto con este escrito una nueva descripción en la cual se han hecho algunas precisiones en el término etapa, ya que el uso de este término ha causado confusión a su Despacho. El asunto radica en que la presente invención consiste de un proceso constituido por varios pasos (se usó el término “etapas”) y en que uno de estos pasos consiste de un sistema que comprende varias “etapas”. El uso del término “etapa” tanto para describir los pasos del proceso como las etapas del sistema ha causado la confusión.

En el texto en inglés esta confusión no existe, por cuanto para el describir el proceso se usó la palabra “step” (paso) y para describir el sistema se usó la palabra “stage” (etapa). Por lo tanto, lo que se ha hecho en la descripción que presento es usar la palabra “paso” para describir el proceso de la invención y dejar la palabra “etapa” para describir el sistema. Esto dará más claridad a su Despacho sobre la invención. Esta modificación a la descripción se hace para que exista concordancia con las nuevas reivindicaciones que presento junto con este escrito para solucionar las diferentes objeciones hechas por su Despacho.

2. En las reivindicaciones.

Para solucionar las objeciones planteadas por su Despacho, presento con este escrito un nuevo capítulo reivindicatorio.

En este nuevo capítulo reivindicatorio se ha evitado, en lo posible, la utilización de expresiones que le quiten claridad y concisión a las reivindicaciones, tales como “dos ó más

etapas”, “en tantas etapas como se requiera”, “otros aditivos”, “preferiblemente”, “son suficientes” y “no mayor”.

La objeción a la reivindicación 1 surge de la confusión mencionada antes causada por el uso del término “etapa” tanto para el proceso como para el sistema. Las nuevas reivindicaciones solucionan este problema y ahora serán claras en cuanto a la materia que se desea proteger.

También en las nuevas reivindicaciones se ha definido cuál es el elemento que se tritura, aglomera, apila y lixivia.

En general, el cambio efectuado en las nuevas reivindicaciones elimina todas y cada una de las objeciones planteadas por su Despacho. Cuando su Despacho entre a analizar el nuevo capítulo de reivindicaciones tendrá una visión más clara de la presente invención.

3. Unidad de invención.

El nuevo capítulo de reivindicaciones elimina la falta de unidad planteada por su Despacho, ya que todo el nuevo capítulo reivindicatorio está dirigido al proceso y ahora solo contiene una sola reivindicación independiente.

4. Análisis de patentabilidad.

Nivel inventivo

Su Despacho considera que la presente solicitud carece de nivel inventivo debido a la combinación de dos documentos de la técnica anterior, la patente ES2241816 (D1) y el libro “Operaciones de Transferencia de masa de Robert E. Treybal, Segunda edición. 1988.

En primer lugar, la solicitante quiere explicar con la mayor claridad las diferencias entre el documento D1 y la presente solicitud bajo estudio. El documento D1 es una patente Española que se basa en la patente Estadounidense No. US 6.312.500. Las explicaciones se darán con base en la patente Estadounidense por facilidad de referencia, ya que no conocemos en su totalidad el texto de la patente Española.

El proceso de lixiviación por cúmulos del documento US 6.312.500 (ES2241816 (D1)), al cual nos referiremos como D1 de aquí en adelante, descrito en la Fig. 6, col 7, línea 64 a col 8, línea 5, col 9, líneas 15-41, y el Ejemplo 5 (ver col 12, líneas 20-67) difiere totalmente del proceso de lixiviación por cúmulos continuo y en contra corriente con n pasos en serie ($n \geq 2$, número entero) descrito en la reivindicación 1. Una persona versada en la materia no entendería el documento D1 como una enseñanza de lixiviación por cúmulos en contra corriente, de acuerdo con una definición de lo que son procesos en contracorriente.

De acuerdo con lo anterior se dan las siguientes observaciones.

Las reivindicaciones de la presente solicitud son rechazadas por su Despacho por falta de nivel inventivo en vista del documento D1 en combinación con el documento D2. La solicitante objeta el análisis hecho por su Despacho y respetuosamente rechaza ese juicio.

D1 está dirigido a un método para lixiviar por cúmulos minerales de laterita que contienen un componente sustancialmente arcilla (ver col 6, líneas 22-24). El método de lixiviación por cúmulos de D1 involucra formar bolitas aglomeradas de mineral en dos ó una serie de montones (ver col. 6, línea 65 a col 7, línea 6 y col 7, líneas 66 a col 8, línea 5). Así, en el comienzo del proceso, cada uno de los montones contiene el mismo tipo de bolitas aglomeradas que aún debe ser sometidas a un solución de lixiviación.

La operación de lixiviado de D1 se muestra en la Fig. 6 y se describió en la col. 9, líneas 16-42. El cúmulo 1 es lixiviado con una solución fresca de lixiviación (H_2SO_4). Después de lixiviar, el licor de lixiviado es recolectado y analizado para determinar la presencia de ácido libre. Si el pH del licor de lixiviado es mayor a 2 ó si el contenido de ácido sulfúrico libre es menor a cerca de 1 g/L, entonces el licor de lixiviado es dirigido a operaciones de

recuperación de níquel. Si el pH del licor de lixiviado es menor a 2 ó si el contenido de ácido sulfúrico libre es mayor a cerca de 1 g/L, entonces el licor de lixiviado se dirige al cúmulo 2. Adicionalmente, se aplica ácido sulfúrico fresco al cúmulo 2 para su lixiviado. Al igual que con el proceso del cúmulo 1, Después de lixiviar, el licor de lixiviado es recolectado y analizado para determinar la presencia de ácido libre. Si el pH del licor de lixiviado es mayor a 2 ó si el contenido de ácido sulfúrico libre es menor a cerca de 1 g/L, entonces el licor de lixiviado es dirigido a operaciones de recuperación de níquel. Si el pH del licor de lixiviado es menor a 2 ó si el contenido de ácido sulfúrico libre es mayor a cerca de 1 g/L, entonces el licor de lixiviado se dirige al cúmulo 3. Adicionalmente, se aplica ácido sulfúrico fresco al cúmulo 3 para su lixiviado. Los pasos de lixiviado resumidos arriba se repiten con el cúmulo 3 y en los pasos subsiguientes.

Como se muestra en la Fig. 6, después de que cada cúmulo ha sido lixiviado, el licor de lixiviación que contiene níquel (que tiene un pH mayor a 2 ó un contenido de ácido sulfúrico menor a 1 g/L) es recolectado y dirigido a las operaciones de recuperación de níquel. El licor de lixiviación restante (que tiene un pH menor a 2 ó un contenido de ácido sulfúrico mayor a 1 g/L) se suministra al siguiente cúmulo. De acuerdo a lo anterior, cada cúmulo subsiguiente es lixiviado por algo del licor de lixiviación del cúmulo previo junto con una solución de lixiviación fresca adicional. La solicitante destaca que la ventaja principal del proceso de D1 es que permite la recuperación del licor de lixiviación utilizable que ya ha pasado por uno ó más cúmulos de modo que puede ser reciclado para uso en la lixiviación de cúmulos subsiguientes en la serie.

La solicitante afirma que el proceso de D1 no cumple con el requerimiento de que “el mineral (solute) pasa secuencialmente por cada una de las etapas desde la primera hasta la enésima etapa” como lo establece la reivindicación 1. En vez de esto, como ya se discutió, cada cúmulo en la serie permanece en la etapa en que estaba al principio del proceso mientras que solamente la solución de lixiviación se mueve por las etapas. Por lo cual, la solicitante afirma de manera respetuosa que D1 falla en enseñar ó sugerir que los minerales se mueven por las etapas. Así una persona versada en la técnica no estaría motivada a dirigirse hacia la presente invención ya que nada le dice que debería hacer que el mineral se mueva ó pase por las etapas para lograr mejor eficiencia.

Además, la solicitante afirma que el proceso de D1 no divulga ni sugiere la materia objeto que dice que “el paso de lixiviar por cúmulos es un sistema de lixiviado por cúmulos continuo en contracorriente con n ($n \geq 2$ y es entero) etapas en serie, el mineral (solute) pasa secuencialmente por cada una de las n etapas desde la primera hasta la enésima etapa”, como se menciona en la reivindicación 1. Su Despacho se basa en que la divulgación de D1 en la Col. 5, líneas 25-30, ejemplo 5, y la Fig. 6 enseña que lixiviar por cúmulos puede llevarse a cabo de una manera de “contracorriente” con lo cual no estamos de acuerdo como ya se explicó.

El ejemplo 5 describe ensayos que fueron “conducidos para demostrar lo deseable de operar la lixiviación por cúmulos de una manera en contracorriente como se muestra en la Fig. 6” (ver col. 12, líneas 22-67). Di establece además:

El lixiviado en contracorriente consistió de dos columnas No. 1 y No. 2. La columna No. 1 fue alimentada inicialmente con una solución que contenía ácido sulfúrico solo con una acidez de 100 g/l. Ya que los primeros 21% de la solución de descarga de la columna No. 1 (lixiviados) tenía el pH requerido (3 y mayor) para la recuperación del metal, fueron enviados al almacenamiento de solución final, pero el 79% restante de los lixiviados todavía eran muy ácidos para la recuperación de metal y por lo tanto se alimentaron en la columna 2 (llamada lixiviación delantera). El lixiviado de la lixiviación delantera de la columna No. 2 se envió también al almacenamiento final de la solución, ya que el exceso de ácido fue consumido. Luego de completar la lixiviación delantera, se alimentó la columna No. 2 con

una solución que contenía ácido sulfúrico solo con una acidez de 100 g/l (llamada lixiviación trasera). La siguiente tabla resume los resultados de este grupo de ensayos. La tabla demuestra claramente los beneficios de una operación en contracorriente ya que toda la solución final tenía un pH mayor a 3 y algo de hierro pudo ser removido de la solución.

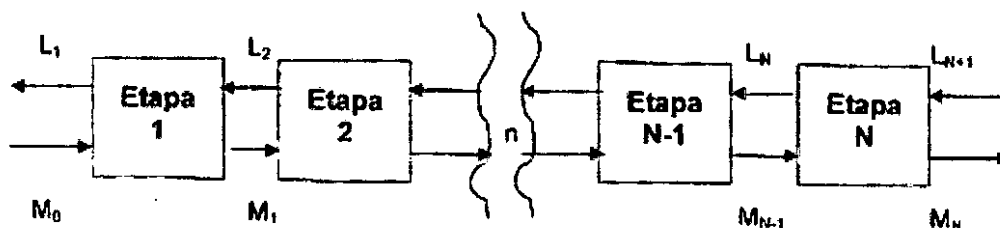
De una manera similar dos columnas, No. 3 y No.4, fueron alimentadas con una solución que contenía 100 g/l de H_2SO_4 y 27 g/l de NaCl para simular el lixiviado con agua de mar. Ya que 11% del lixiviado de la columna No.3 tenía un pH mayor a 3, solamente el 89% del lixiviado recolectado de la columna No.3 fue reciclado en la columna No. 4. Luego de que la lixiviación “delantera” se completó, la Columna No.4 fue alimentada con el agua de mar simulada. Resultados similares a los datos anteriores se obtuvieron y se presentan en la siguiente tabla.

En las tablas en las cols. 12 y 13, D1 se refiere a métodos de operación “de un solo paso” con referencia a las Columnas No. 2 y 3 y métodos de operación en “contracorriente” con referencia a las Columnas Nos. 2 y 4.

Es claro que los procesos del ejemplo 5 son similares al proceso de la Fig. 6 discutido antes en que cada “cúmulo” en la serie de dos “cúmulos” permanece en la etapa (una columna) en la que estaba al principio del proceso, mientras que solamente la solución de lixiviación se mueve por las etapas (columnas). Como tal, el mineral no se mueve por las etapas. Adicionalmente, **en ninguna parte D1 enseña ó sugiere que el mineral y la solución de lixiviación en los procesos de lixiviación por cúmulos del Ejemplo 5 se mueven por las etapas en direcciones que son opuestas una a la otra, como es característico de un flujo en contracorriente.**

El uso del término “contracorriente” con referencia al Ejemplo 5 y la Fig. 6 del documento D1 no se ajusta a la definición de “contracorriente” aceptada por aquellos versados en la técnica. La especificación de la presente solicitud bajo examen, como se presentó originalmente, en la p. 4, líneas 15-23 suministra una definición aceptable de un sistema en contracorriente:

En un sistema de contracorriente de múltiples etapas (Foust et al, *Principles of Unit Operations*, 1960, pags. 43-49), las dos fases ingresan por extremos opuestos de una serie de etapas balanceadas, como se muestra en el esquema 1 abajo. Las fases fluyen en direcciones opuestas una a la otra. De esta manera, la concentración del soluto en el producto de fase L puede ser incrementado, y una recuperación más alta de soluto es posible con menor cantidad de disolvente.



ESQUEMA 1

4

El documento D2 tiene una característica similar y en ninguna parte enseña ó sugiere un proceso tal como se da en la presente solicitud de patente. El documento D2 no tiene ninguna fuerza de asociación con el documento D1 en vista de que queda claro que la enseñanza en D1 no tiene nada que ver con un proceso de lixiviación por cúmulos continuo en contracorriente. Una persona versada en la técnica jamás interpretaría el documento D1 como una enseñanza de un proceso en contracorriente.

Parece ser que la notación en D1 de métodos de operación “en un solo paso” puede referirse a la única fuente de solución de lixiviación de ácido sulfúrico en las Columnas No. 1 y 3, y la notación de métodos de operación en “contracorriente” puede referirse a la combinación del lixiviado de las Columnas 1 y 3 con ácido sulfúrico fresco aplicada a las Columnas Nos. 2 y 4, respectivamente. Pero lo que es claro es que el término “contracorriente” no sigue ó no se ajusta a la definición aceptada por aquellos versados en la materia. Ya que el mineral y la solución de lixiviación no fluyen en D1 en direcciones opuestas, por lo tanto el Ejemplo 5 no puede ser interpretado para demostrar un flujo en contracorriente de acuerdo con la definición aceptada por aquellos versados en la técnica.

Ya que D1 no sugiere ni enseña un flujo en contracorriente entre el mineral y la solución de lixiviación, este documento no afecta no por sí mismo ni en combinación con D2 el nivel inventivo de la presente invención.

De acuerdo a lo anterior, pido respetuosamente se acepten los nuevos capítulo descriptivo y de reivindicaciones y se continúe con el trámite para otorgar el privilegio de patente a la presente solicitud.

ANEXOS

Lo enunciado

NOTIFICACIONES

Recibiré notificaciones en la Secretaria de ése Despacho y en mi oficina, ubicada en la Calle 83 A No. 23-90 de esta ciudad.

De la Señora Jefe,

JESÚS M. MÉNDEZ BERMÚDEZ
C.C. No. 13.491.525 de Cúcuta
T.P.A. No. 99.678 del C. S. de la J.

**PROCESO PARA LA EXTRACCIÓN DE NIQUEL, COBALTO, Y OTROS
METALES BASE DE MENAS DE LATERITA MEDIANTE USAR LIXIVIADO POR
CÚMULOS Y EL PRODUCTO QUE CONTIENE NIQUEL, COBALTO, Y OTROS
METALES DE MENAS DE LATERITA**

La presente invención comprende un proceso para la extracción de níquel, cobalto, cinc, hierro y cobre, entre otros metales, de menas de laterita, con menos inversión y costos operativos más bajos que los de los procesos conocidos para la persona versada en la materia. El proceso de acuerdo con la invención emplea lixiviación por cúmulos, que es un proceso para la extracción de constituyentes solubles de una mezcla de sólidos de laterita acumulados por percolación con soluciones ácidas.

ESTADO DE LA TECNICA

Generalmente, la metalurgia extractiva está definida en el arte y la ciencia de la extracción de metales de minerales y/o de materiales que los contienen mediante métodos físicos y químicos. La metalurgia extractiva se puede dividir en tres ramas principales: hidrometalurgia, pirometalurgia y electrometalurgia.

La hidrometalurgia es la técnica extraer metales por procesos fisicoquímicos acuosos; la pirometalurgia involucra procesos fisicoquímicos secos a temperaturas elevadas; y la electrometalurgia trata con métodos electrolíticos.

Normalmente, la electrometalurgia está integrada con los otros dos procesos, con electrólisis en un medio acuoso usada en la hidrometalurgia, y electrólisis en medio fundido que se usa en la pirometalurgia.

La metalurgia extractiva también descansa en operaciones unitarias distintas para permitir y mejorar la concentración y/o separación del metal, lo que incluye, entre otros: métodos de desintegración (romper y moler), métodos de concentración física (separación magnética, por gravedad y electrostática), métodos de concentración fisicoquímicos

(flotación), y métodos de separación sólido-líquido (espesamiento, filtración y secado).

La hidrometalurgia se lleva a cabo en tres etapas fisicoquímicas distintas y secuenciales: (a) disolución selectiva de metales contenidos en la fase sólida (lixiviado); (b) purificación y/o concentración de las soluciones acuosas que contienen los metales objetivo (precipitación, cementación, intercambio iónico, o extracción por solvente); y (c) recuperación selectiva de los metales (recuperación electrolítica, electrorrefinación, y reducción con hidrógeno).

La aplicación de las rutas metalúrgicas en la recuperación de metales se ha incrementado de manera significativa en los últimos cincuenta años, con este incremento está íntimamente relacionado al hecho de que depósitos de alto grado se han venido formando, y como resultado los grados se han vuelto incrementalmente menores y los minerales aún más complejos, requieren de etapas de preconcentración. Adicionalmente, esta alternativa tiene un menor impacto ambiental y es menos intensa en cuanto a requisitos de costo de capital cuando se compara con los procesos pirometalúrgicos tradicionales.

La extracción de una fracción soluble de un constituyente sólido insoluble por un disolvente se llama generalmente lixiviación, y es un proceso de transferencia de masa. Taggart apud Arbiter, en *Copper Hydrometallurgy - Evolution and milestones, Hydrometallurgy - Fundamentals, Technology and Innovation*, 1993, pags. 549-565, lo definió como la operación en la cual existe un contacto efectivo entre el mineral para lixiviar y el disolvente.

La lixiviación puede tener lugar en condiciones ambiente, o a temperaturas elevadas y/o bajo presión. Las condiciones del proceso dependen de las reacciones químicas que tienen lugar. En todos los casos, el objetivo es producir iones o complejos metálicos que pueden ser extraídos selectivamente de la solución.

Cualquier reactivo que se use como disolvente en un proceso de lixiviación debería cumplir por lo menos con las siguientes calificaciones como se describió por Gupta et al. En *Hydrometallurgy in Extraction Processes*, vol I, pg. 39:

- Debe disolver los minerales lo suficientemente rápido para volver el proceso factible comercialmente, y preferiblemente debería ser químicamente inerte frente a minerales ganga.
- Debe ser efectivo en cuanto a costos y fácilmente disponible en grandes cantidades.
- Si es posible, debería ser recuperable en procesos subsiguientes a la etapa de lixiviación.

Aparte del agua, que se usa para lixiviar cloruros o sulfatos solubles, muchos disolventes diferentes han sido usados en diferentes aplicaciones de lixiviación, como se muestra en los ejemplos en la Tabla 1 abajo.

Clasificación de reactivos de lixiviación

Categoría	Reactivo	Aplicación
Ácidos	H ₂ SO ₄ diluido	Oxidos de cobre, óxido de cinc, níquel laterítico
	H ₂ SO ₄ diluido con oxidante	Sulfuros de Cu, Ni y Zn, mineral de uranio oxidado
	H ₂ SO ₄ concentrado	Lateritas con cobre sulfurado concentrado
	Ácido Nítrico	Sulfuros de Cu, Ni y Mo, concentrados de uranio, óxido de zirconio
	Acido fluorhídrico	Mineral de Colombita-tantalita
	Acido clorhídrico	Minerales de titanio, mata de níquel, casiterita reducida
Álcalis	Hidróxido de sodio	Bauxita
	Carbonato de sodio	Óxido de uranio, scheelita
	Hidróxido de Amonio	Sulfuro de níquel, sulfuro de cobre, laterita reducida
Sales	Sulfato férrico/cloruro	Concentrados de sulfuros de metal base
	Cloruro cúprico	Concentrados de sulfuros de metal base
	Cianuro de sodio or potasio	Minerales de oro y plata
	Cloruro ferroso	Sulfuro de níquel
Agua	Agua	Sulfuros y cloruros, vanadato

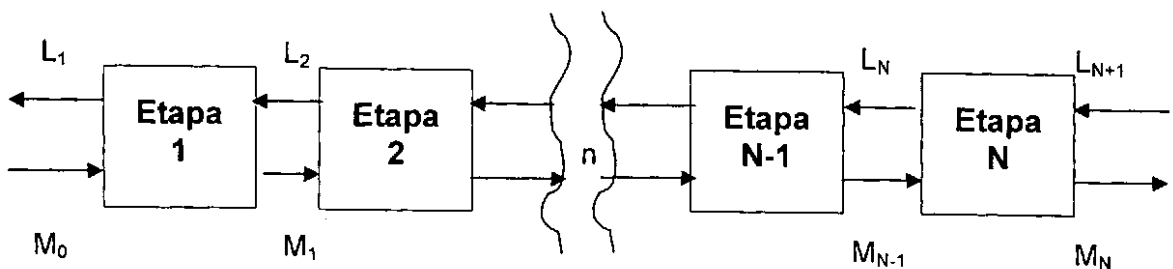
		de sodio, molibdato de sodio, tungstanato de sodio
--	--	---

TABLA 1

Los ácidos tales como ácido sulfúrico, clorhídrico, y nítrico son los más usados en procesos de disolución tales como lixiviación. De estos, el ácido sulfúrico es el más ampliamente usado y de menor costo.

Como es conocido por la persona versada en la técnica, de acuerdo con Perry y Chilton en *Chemical Engineer's Handbook*, los sistemas de lixiviación se distinguen por el ciclo de lixiviación (tandas, continuo, o múltiples tandas intermitentes); por la dirección de los flujos (cocorriente, contracorriente, o híbrido); por el tipo de etapas (etapa única, múltiples etapas, o etapas diferenciales); y por el método de contacto (percolación o sólidos dispersados).

En un sistema de contracorriente de múltiples etapas (Foust et al, *Principles of Unit Operations*, 1960, pags. 43-49), las dos fases ingresan por extremos opuestos de una serie de etapas balanceadas, como se muestra en el esquema 1 abajo. Las fases fluyen en direcciones opuestas una a la otra. De esta manera, la concentración del soluto en el producto de fase L puede ser incrementado, y una recuperación más alta de soluto es posible con menor cantidad de disolvente.



ESQUEMA 1

Con respecto al método de contacto, la lixiviación puede ser agrupada en lixiviación in-situ, lixiviación por agrupamiento o volcado, (lixiviación por percolación) y lixiviación agitada (a presión atmosférica y bajo presión).

En el DIAGRAMA DE FLUJO 1 abajo, se puede verificar, en general, cómo las operaciones unitarias pueden estar asociadas con los métodos principales de lixiviación actualmente disponibles para el tratamiento de minerales y concentrados, de acuerdo con Esteban Domic en *Hidrometalurgia - Fundamentos, procesos y aplicaciones*, 2001.

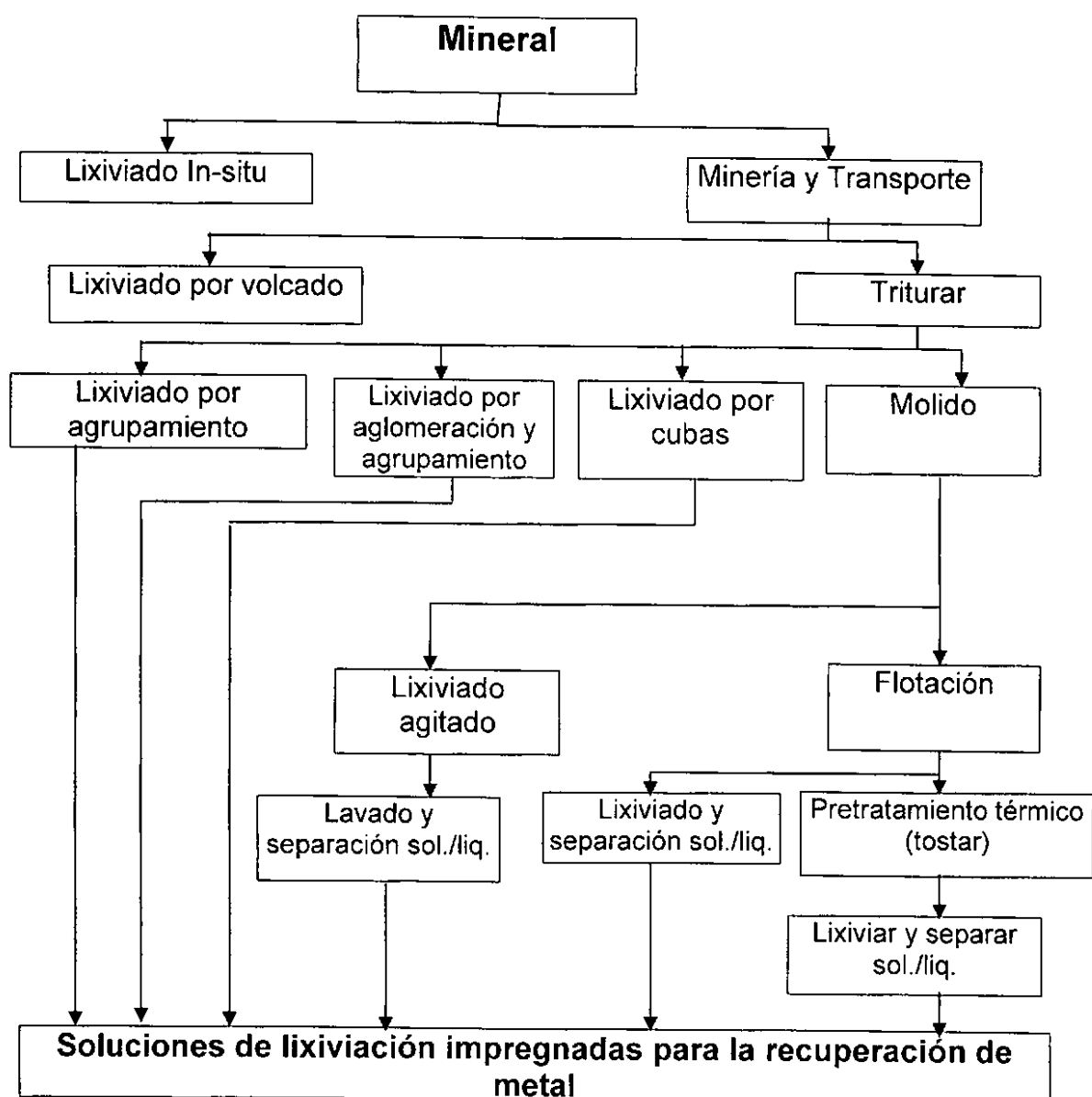


DIAGRAMA DE FLUJO 1

La lixiviación in-situ consiste en aplicar una solución de lixivadora directamente en el lugar en donde el mineral está localizado dentro del depósito mismo, sin necesidad de extraerlo.

La lixiviación por cúmulos es probablemente uno de los métodos más antiguos, siendo el más antiguo para la recuperación del cobre. Este ha sido usado para la recuperación del cobre en España desde los años 1700. En este método de lixiviación, el mineral, que usualmente ha sido aglomerado con ácido sulfúrico concentrado, es apilado y la

solución de lixiviación es aplicada por encima del cúmulo desde donde esta percola por gravedad, siendo recolectada en el fondo del montón. La aplicación y distribución de la solución de lixiviación se lleva a cabo en la parte superior del cúmulo mediante goteros o salpicadotes tipo fondo inestable. El sistema de irrigación está definido como una función de la evaporación y disponibilidad de agua. La solución que contiene el metal objetivo es enviada a las etapas subsiguientes de purificación/extracción. La lixiviación por cúmulos es usada para minerales triturados, mientras que la lixiviación por volcado es usada para ROM (salida de la mina). La lixiviación por volcado, que es muy similar al proceso previamente descrito, consiste en tratar los minerales con grados muy bajos de metal objetivo, usualmente por debajo del grado de equilibrio económico para la línea de procesamiento principal, conocido como deshecho mineralizado. En el proceso de lixiviación por cúmulos, los cúmulos pueden ser dinámicos o permanentes. En el caso de cúmulos dinámicos, también llamados cúmulos variables, en los cuales el mineral después de haber sido lixiviado es removido hacia una localización para la disposición final de los residuos, la base del cúmulo es reutilizada. En el caso de cúmulos permanentes, o cúmulos estáticos, nuevos cúmulos son formados encima de los anteriores, usando o no el área impermeabilizada existente.

La lixiviación en cubas (en tanques estáticos) comprende un conjunto de tanques usualmente de sección transversal cuadrada, en donde el mineral triturado es cargado y la solución de lixiviación es aplicada de modo que fluya hacia arriba o hacia abajo, inundando así la capa de mineral. Este es un sistema muy dinámico adecuado para lixiviar minerales que poseen una cinemática de disolución rápida. Normalmente, el ciclo de lixiviado está entre 6 a 12 días.

La lixiviación agitada, sea a presión atmosférica o bajo presión, requiere que el mineral esté finamente molido, y se lleve a cabo en tanques en donde los sólidos están dispersos

en la solución de lixiviado mediante inyección de gas o agitación mecánica. En comparación con los otros métodos, el tiempo de lixiviación es menor debido al menor tamaño de partícula (área específica mayor) y a la turbulencia en el tanque, que suministra una difusión más alta entre el reactivo y el mineral.

Dos diferencias principales son evidentes entre la lixiviación en cubas y la lixiviación agitada. Primero, en la lixiviación agitada el líquido es la fase continua, y segundo, esta forma de lixiviar ocurre bajo condiciones turbulentas, mientras que en la lixiviación en cubas el flujo es usualmente más laminar. Existe, por lo tanto, una diferencia sustancial entre las ratas de transferencia de masa de los dos tipos de lixiviación. Ratas de transferencia de masa mayores se logran bajo condiciones turbulentas de contacto.

La aplicación de la lixiviación por cúmulos como un método para la extracción de oro (cianuración del medio alcalino), cobre, uranio, níquel (lixiviación sulfúrica en medio ácido), y otros minerales se ha incrementado durante los últimos años, porque la posibilidad de tratamiento de minerales de muy bajo grado que no serían viables económicamente por métodos convencionales, y también porque es una alternativa para el tratamiento de minerales que tienen una cinemática de disolución muy lenta.

La lixiviación por cúmulos para el cobre es ampliamente conocida. Históricamente, el método pionero fue usado en las minas de Rio Tinto, en España, hace cerca de 300 años.

En la lixiviación por cúmulos del cobre, el mineral es triturado, luego aglomerado con ácido sulfúrico concentrado, y amontonado o apilado sobre una base que ha sido preparada apropiadamente e impermeabilizada. La altura de los montones varía ampliamente, en rangos que pueden ir de 1,5 m hasta 30 m. La solución de lixiviado (ácido sulfúrico diluido) es rociada sobre la superficie superior del montón, y percola por gravedad hacia abajo dentro del mineral. La solución

caída al fondo que lleva el cobre disuelto es recolectada y enviada

a a un circuito de recuperación de cobre que es típicamente una extracción por disolvente y un circuito de recuperación electrolítica. Este es un proceso muy bien conocido, y el conjunto de operaciones unitarias de lixiviación por cúmulos/extracción con disolvente/recuperación electrolítica ha sido aplicado a escala comercial por más de 40 años.

Sin importar el tipo de mineral, una ruta de proceso en la cual la etapa de solubilización del metal objetivo se lleva a cabo por lixiviación por cúmulos requiere etapas de triturado/molido del mineral. Es fundamental para el proceso que el cúmulo o montón tenga una buena permeabilidad, con un buen contacto entre el mineral y la solución. Como fue bien informado en el documento US 5077021, los minerales que contienen cantidades en exceso de mineral de arcilla o finos (generalmente, un material por debajo de 0,15 mm) presenta problemas en este tipo de proceso, porque tiende a ralentizar o aún detener la percolación en ciertas áreas del montón, como un resultado del bloqueo. Es de conocimiento general que el bloqueo es causado por la segregación de material, cuando los finos y/o los minerales de arcilla migran a ciertas áreas del montón. Creando así zonas con tasas de percolación diferentes. Como resultado de este efecto, la solución empieza a fluir por trayectos de menos resistencia, creando canales preferidos de flujo. La creación de estos canales preferidos deja sin lixiviar áreas en el montón, con la consecuente menor recuperación del metal objetivo. La formación de un "lodo" por las partículas finas liberadas y/o los minerales de arcilla, cuando es muy severo, lleva al bloqueo. Por lo tanto, es mandatorio hacer la cama permeable para el proceso, sea removiendo los finos y/o los minerales de arcilla o por medio de aglomerarlos. La etapa de aglomeración que sigue al triturado, como preparación del mineral que va a ser apilado, es fundamental e inherente a la ruta de lixiviación por cúmulos para cualquier mineral, sea este oro, uranio, vanadio, plata, cobre, cinc, o níquel, óxido o mineral de sulfuros.

Como es bien conocido por las personas versadas en el arte, los minerales de níquel pueden ser clasificados en dos tipos principales de acuerdo con su composición, en particular, sulfatos y laterita (siendo el último conocido como oxidado). Originados en capas subterráneas por debajo de la región saprolítica (una región rica en arcilla), los depósitos de sulfuro corresponden a cerca del 20% de las reservas de níquel Western, y se encuentran principalmente en Australia, seguido por Canadá, China, África del Sur, y Zimbabwe. Aproximadamente 55% de la producción total de níquel viene de mineral de sulfuro.

El mineral de laterita ocurre en regiones más superficiales. Los depósitos se localizan principalmente en Brasil, Cuba, Australia, Nueva Caledonia, y las Filipinas, con grados promedio alrededor de 1,95% y grados de óxido de hierro mayores a 24%, y presencia de cobalto y magnesio. El mineral de laterita corresponde a aproximadamente 80% de las reservas de níquel conocidas.

La creciente preocupación acerca de la producción de mineral y reducción de costos de la extracción ha motivado una mayor utilización de mineral de níquel de fuentes lateríticas. Dos factores contribuyen a la utilización incrementada de estos minerales: las reservas de sulfuro de níquel involucran un alto costo de extracción, y los minerales de laterita tienen grados más altos de níquel que los minerales de sulfuro, permitiendo mayor eficiencia como se muestra en la Tabla 2 abajo:

	Mineral (1,000 t)	Grado (%)	Níquel (1,000 t)	%
Sulfuro	10,594	0.58	62	31
Laterita	10,382	1.34	140	69
Total	20,976	0.96	202	100

TABLA 2

Fuente: *Mineração e Metalurgia*, Mayo de 2000

Los minerales de laterita pueden ser tratados por la vía de la hidrometalurgia o por la vía de la pirometalurgia. Normalmente, estos procesos involucran un alto consumo de energía, como es el caso de la fundición de mata, fundición para la producción de Fe-Ni, y procesos de lixiviación amoniacal, que vuelven antieconómico el procesamiento de minerales de laterita con bajo grado de níquel. La lixiviación sulfúrica a alta presión involucra un bajo consumo de energía, pero requiere altas inversiones tanto en equipo como en el resultado de un ambiente muy corrosivo.

Actualmente, la lixiviación amoniacal y la lixiviación con ácido sulfúrico a presión son las dos técnicas hidrometalúrgicas principales usadas para la recuperación de níquel y cobalto de lateritas. Aparte del tratamiento químico relativamente agresivo y la alta inversión de capital involucrados, estos son altamente dependientes de los costos de combustible y ácido sulfúrico/sulfuros respectivamente.

Aunque el proceso de lixiviación con ácido sulfúrico a presión no produce ganancias significativas en términos de costos de capital en comparación con tecnologías más convencionales, permite la obtención de níquel con una gran ventaja económica en términos de costos operativos. El proceso también permite altos niveles de recuperación de cobalto, generando suficiente energía al ciclo operacional, si bien requiere escalas de producción grandes.

Los altos precios del níquel y el cobalto han llevado también a la industria hacia la búsqueda de procesos alternativos para reducir los costos operacionales, con el fin de mantener la rentabilidad del negocio a niveles de precios más bajos en el níquel y el cobalto.

El gran interés surgido en la producción de nickel durante los últimos años ha conducido al desarrollo de un rango de nuevas rutas de proceso para el tratamiento de minerales lateríticos, tal como la lixiviación por cúmulos, entre otros. La lixiviación por cúmulos es una operación que involucra baja inversión y bajos costos operativos, es bien conocida, y es ampliamente aplicada principalmente para minerales de cobre, uranio y oro.

Aunque ampliamente utilizadas, las técnicas convencionales para la extracción de metales de minerales lateríticos puede volver al proceso inviable económicamente, principalmente debido a la variabilidad en los precios de los combustibles y los ácidos requeridos para dichos procesos.

El uso de la lixiviación por cúmulos para minerales lateríticos representa un hito tecnológico para la industria del níquel, porque no solo vuelve la minería de depósitos pequeños o de bajo grado factible, sino que también es un proceso de mineral alternativo que requiere una inversión significativamente más baja cuando se compara con los procesos convencionales anteriormente mencionados.

Aunque ya se han estudiado y publicado en otros documentos, tales como las patentes de proceso GR 1001555, GR 1003569T, US 6312500, Wo 2004/031422 y WO 2005/005671, los conceptos de la lixiviación por cúmulos propuestos allí presentan condiciones de proceso y configuraciones de sistema completamente diferentes de los que se proponen en la presente solicitud de patente, como será evidente a lo largo de la descripción.

Los primeros estudios relacionados con esta solicitud se llevaron a cabo por S. Agatzini y originaron la patente Griega GR 100155. El documento describe dos técnicas de lixiviación por cúmulos aplicadas a minerales que contienen bajos grados de níquel. La técnica I considera una opción de circuito en la cual la solución de lixiviado es recirculada, esto es, es aplicada al mineral en un número de contactos hasta que el incremento en la concentración del efluente de níquel en el proceso ya no se observa. Después de esta estabilización, se prepara una nueva solución y se aplica al mineral. El disolvente usado es ácido sulfúrico, y la concentración inicial de la solución ácida es 1N. Las ratas de percolación de creca de 4 a 33 L/h/m², preferiblemente entre 12,5 y 25 L/h/m², son consideradas. Como se discutió en esta técnica, generalmente, la solución que resulta del proceso de lixiviación se diluye, con bajas concentraciones de metales, y es altamente dependiente del tipo de mineral y de la etapa del proceso. La técnica II se dirige básicamente al mismo proceso descrito en la técnica I, e incluye una corrección del pH de la solución de lixiviado después de cada reciclo, antes de volver a ser aplicada al cúmulo. El pH es corregido a su valor inicial. El proceso de lixiviado se considera completo cuando no existe incremento adicional en la concentración de níquel en la solución. La solución resultante puede ser usada subsiguientemente para lixiviar otro material exactamente de la misma manera, hasta que la concentración deseada de níquel en la solución se logre. Se enfatiza que la técnica como se presentó con reciclos continuos no inhibe la lixiviación, excepto cuando la solución está saturada con un elemento específico, en cuyo caso se observa la precipitación en la forma de un sedimento químico. De acuerdo con esta técnica, durante el proceso de lixiviación por cúmulos del mineral de níquel y laterita, el aluminio es un primer metal que se precipita después de que la solución se satura.

La patente GR 1003569T describe aproximadamente las mismas características

descritas en el documento GR 1001555, en donde el agua común es sustituida por agua de diversas composiciones químicas, o agua de efluentes industriales/municipales, o aún agua de mar, lo que se dice que no afecta la extracción de níquel y adicionalmente incrementa las cantidades recuperables de Mg, Ca y Na del licor percolado.

El documento US 6312500 presenta un proceso de lixiviación por cúmulos para minerales lateríticos de níquel que contienen una cantidad sustancial de materiales de arcilla, definida esta cantidad sustancial como más de 25% de arcillas. Si es necesario, el mineral es triturado al tamaño deseado, menor a 25,0 mm, preferiblemente entre 19,0 mm y 3,35 mm. El proceso incluye una etapa de aglomeración previa a la formación del cúmulo, con ácido sulfúrico, debido a los finos presentes en el mineral. La aglomeración se lleva a cabo en equipos convencionales o en cualquier unidad que permita esta operación unitaria. Alternativamente, después de la aglomeración, el mineral es curado. El tiempo de curado puede variar entre una hora a tres días. Esta etapa se lleva a cabo depositando el mineral aglomerado en un área abierta al aire. El mineral aglomerado se apila entonces para formar un cúmulo cuya altura puede variar entre 60 cm a cerca de 9 m. Se pueden formar dos o más cúmulos. La solución ácida es aplicada en la parte superior del cúmulo, a una rata de 10 a 20 L/h/m². El proceso mismo de lixiviado se describe como sigue. El primer cúmulo es lixiviado por una solución fresca de H₂SO₄ con una concentración de por lo menos 10 g/L. Si el pH del efluente de la solución lixiviada del cúmulo es mayor a 2 (o si la acidez libre es menor a 1 g/L), entonces la solución puede dirigirse a la recuperación del níquel. Si el pH es menor a 2, el licor es dirigido al cúmulo 2. Adicionalmente al licor del cúmulo 1, una nueva solución de H₂SO₄ (con una concentración de por lo menos 10 g/L) es aplicada al cúmulo 2. El licor del cúmulo 2 es también analizado en cuanto a la acidez libre. Si el pH es mayor a 2 o si la acidez libre es menor a 1 g/L, entonces la solución puede dirigirse a la recuperación del níquel. En estos niveles de acidez, no es necesario someter el licor a la etapa de neutralización subsiguiente, ya que el níquel puede ser extraído directamente de la solución, por ejemplo por intercambio iónico. La mayor parte del licor se somete directamente a la extracción del níquel, aunque una porción es dirigida a un tercer cúmulo. El proceso puede continuar para muchos cúmulos.

Aunque en la Patente WO 2004/031422 se establece que el método no es específico al níquel, este elemento está incluido en una de sus reivindicaciones. Se reclama que el mineral debería ser aglomerado. La solución de lixiviado reivindicada contiene ácido sulfúrico y dióxido de sulfuro disuelto, y la solución es purgada al circuito de recuperación de níquel, con el dicho ácido sulfúrico de la solución de lixiviación en una concentración de cerca de 785 g/L. En esta invención, el dióxido de sulfuro es agregado a la solución de lixiviación antes de ser aplicada al cúmulo.

OBJETIVOS Y VENTAJAS DE LA INVENCION

La presente solicitud de patente, a diferencia de las otras mencionadas

anteriormente, propone un método de procesamiento continuo, en el cual la lixiviación del mineral se lleva a cabo en un sistema de contracorriente que comprende de por lo menos 2 etapas, cada etapa representada por una sección de cúmulo o por un cúmulo.

El objetivo de la presente invención ha sido desarrollar una opción muy competitiva para la extracción de níquel, cobalto, cinc, y cobre entre otros metales base, del mineral laterítico, con una más baja inversión y más bajos costos operativos que los de otras rutas tecnológicas establecidas, lo mismo que para resolver, económicamente, el problema de extraer níquel del mineral de bajo grado y/o depósitos pequeños.

Otro objetivo de la presente invención ha sido el de reducir significativamente el consumo de ácido sulfúrico por el sistema, alcanzando niveles de 350 kg de ácido por tonelada de mineral tratado, con extracciones de níquel que varían entre 70% a 90% dependiendo de la composición mineralógica, y adicionalmente suministrar un ciclo de lixiviado más corto y favorecer el balance de agua del sistema, y presentar una selectividad mejorada para la extracción de los metales objetivo en relación con la ganga, y reducir dramáticamente el volumen total de la solución.

La invención comprende un proceso continuo en el cual la lixiviación del mineral se lleva a cabo en un sistema de contracorriente usando por lo menos 2 etapas, cada etapa es representada por una sección del cúmulo o por un cúmulo, que se puede aplicar a minerales que contienen grandes cantidades de finos naturales, y que también sea una opción para el tratamiento de fracciones gruesas ($>0,5$ mm). Tal dicha lixiviación por cúmulos es presentada como una alternativa óptima para la extracción de níquel, cobalto, y cinc entre otros metales base, de mineral laterítico, con una más baja inversión y más bajos costos operativos que los de otras rutas tecnológicas establecidas, lo mismo que para resolver, económicamente, el problema de extraer níquel del mineral de bajo grado y/o depósitos pequeños.

DESCRIPCIÓN EN RESUMEN

La invención comprende un proceso para la extracción de níquel, cobalto, y otros metales de minerales de laterita mediante lixiviación por cúmulos, que comprende los pasos Triturar (I), aglomerar (II), apilar (III), y lixiviar por cúmulos (IV), con este último paso usando un sistema de lixiviación por cúmulos dinámica, de contracorriente, continuo que comprende dos fases, una de las cuales está compuesta del mineral (sólido), y la otra está compuesta de la solución de lixiviación, o disolvente, que se suministra por extremos opuestos de una serie de etapas que fluyen en direcciones opuestas. Luego de la cesación del lixiviado en la última etapa, su sólido es removido y una nueva etapa es introducida en la primera posición, formada por nuevo mineral (sólido) que va a ser lixiviado por la solución disolvente, que es introducida desde la última etapa, percolando o fluyendo por todas las etapas previas hasta llegar a la primera etapa, la cual es separada cuando está cargada con metales objetivo (PLS – Solución de lixiviación preñada).

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La invención comprende un proceso para la extracción de níquel, cobalto, y otros metales de minerales de laterita mediante lixiviación por cúmulos, que comprende un proceso continuo en el cual la lixiviación del mineral se lleva a cabo en un sistema de contracorriente usando por lo menos 2 etapas, cada etapa es representada por una sección del cúmulo o por un cúmulo, que se puede aplicar a minerales que contienen grandes cantidades de finos naturales, y que también sea una opción para el tratamiento de fracciones gruesas ($>0,5$ mm). Tal dicha lixiviación por cúmulos es presentada como una alternativa óptima para la extracción de níquel, cobalto, y cinc entre otros metales base, de mineral laterítico, con una más baja inversión y más bajos costos operativos que los de otra rutas tecnológicas establecidas, lo mismo que para resolver, económicamente, el problema de extraer níquel del mineral de bajo grado y/o depósitos pequeños.

El DIAGRAMA 2, adjunto aquí, es un diagrama de boques que representa de manera esquemática el diagrama de flujo general para el proceso hasta la obtención de una solución rica en el metal objetivo; y el DIAGRAMA 3, adjunto aquí, es un dibujo esquemático del paso de lixiviación de cúmulos por contracorriente.

La presente invención comprende una ruta de procesamiento hidrometalúrgico para el tratamiento de minerales de níquel laterítico, en la cual la etapa de solubilización de los valores de metal tiene lugar por lixiviación por cúmulos.

El DIAGRAMA 2, adjunto aquí, es una representación esquemática del diagrama de flujo general del proceso hasta la obtención de una solución rica en el metal objetivo. En general, la ruta propuesta comprende los pasos de triturar (I), aglomerar (II), apilar (III), y lixiviar por cúmulos (IV).

El material con sale de la mina, ROM (O), es triturado para tener un tamaño de grano adecuado para el proceso. El triturado se lleva a cabo en tantas etapas como se requiera para lograr el tamaño de grano adecuado para el proceso, dependiendo de las características del mineral. En general, un tamaño de grano máximo entre aproximadamente 25,0 mm y aproximadamente 50,0 mm es obtenido en un triturado secundario, y un tamaño de grano máximo entre aproximadamente 12,5 mm y aproximadamente 6,30 mm se obtiene en un triturado terciario. Dos etapas de triturado es suficiente para minerales altamente porosos (área específica grande) que contienen grandes cantidades de finos. En el caso de minerales más compactos y más competentes, triturados terciarios y cuaternarios pueden ser usados para suministrar una superficie de reacción más grande. La generación de finos debería ser minimizada en estas operaciones unitarias.

La figura 1, adjunta aquí, ilustra un tipo de mineral con alta porosidad, que facilita la accesabilidad del agente de lixiviado.

Después, el producto triturado es enviado a la unidad de aglomeración (II) mediante una cinta transportadora. Si es necesario, se puede agregar agua al mineral durante el transporte, por ejemplo en los casos en los cuales el mineral está muy seco y contiene altas cantidades de finos. La adición de agua sobre la cinta transportadora puede llevarse a cabo de diversas maneras, tal como rociado, y esto minimiza la formación de polvo, mejorando favorablemente las condiciones de trabajo. Adicionalmente, y esto es muy importante, minimiza la pérdida de níquel, ya que la concentración de este elemento en las fracciones más finas es una característica de los minerales lateríticos. La aglomeración se lleva a cabo en un equipo convencional, tal como tambores y discos giratorios, o aún cualquier aparato que produzca el resultado esperado.

En esta etapa, el ácido sulfúrico, sea concentrado o en solución, y el agua agregados al mineral en cantidades que se definen de acuerdo con la cantidad de finos presente (puede ser 30-70% inferior a 0,074 mm), con el ácido y el agua agregados en dosis que son suficientes para producir la cantidad deseada de humedad de aglomeración. La humedad de aglomeración es determinada previamente, en ensayos de banco, y es dependiente de las características físicas y mineralógicas del mineral. Debido a la fracción ultrafina presente, se puede agregar un agente aglomerante, que puede ser inorgánico u orgánico, sintético o natural, o aún de origen mineral, como la bentonita por ejemplo, siempre que tal agente sea inerte al ácido de la solución de lixiviación. En el producto aglomerado no debe haber finos libres presentes, lo que significa cualquier fracción de mineral más pequeño que 1,70 mm.

Se debe destacar que estos minerales con basicidad natural debido a los altos niveles de constituyentes básicos, tales como MgO o CaO, tienen un alto potencial neutralizante, y este es el caso de los minerales saprolíticos. Por lo tanto, en adición a los beneficios ya bien conocidos de la aglomeración, esta etapa es también importante, en la ruta propuesta, como una etapa de preneutralización para el mineral. La cantidad de ácido sulfúrico que debe ser agregado es definido, tomando en cuenta las especies minerales que más consumen ácido en el proceso de granulometría. Esta acción neutralizante en esta etapa acelera el inicio de la extracción de los metales objetivo. Cuando no hay adición de ácido en este paso y la aglomeración se lleva a cabo solo con agua, con o sin agente aglomerante, se observa un retardo en la extracción de los metales objetivo, particularmente níquel y cobalto, aunque no se observa ningún impacto significativo sobre el ciclo total de lixiviación. Normalmente, el magnesio, el hierro, el aluminio, y el calcio son las especies que tienen mayor consumo de ácido.

Después de la aglomeración (II), el mineral es apilado (III), formando cúmulos cuyas alturas finales varían entre cerca de 2 m a 7 m, preferiblemente 4 metros.

El sistema de lixiviado (IV) propuesto es en cúmulos dinámicos (o variables), a contracorriente, multietapa, con el número de etapas siendo 2 o más, preferiblemente 3 etapas. El sistema descrito aquí sigue la conceptualización como la presentó Foust et al en

Principles of Unit Operations, mencionado en la descripción del estado de la técnica. Siendo una operación unitaria de lixiviado, las dos fases están comprendidas del mineral (soluto) cuyos valores de metal (principalmente Ni y Co) van a ser extraídos, y la solución de ácido sulfúrico (disolvente). Las dos fases son alimentadas por extremos opuestos de una serie de etapas balanceadas, y fluyen en direcciones opuestas una a la otra. Con esta técnica, se obtienen mayores concentraciones de Ni y Co en el producto de la fase líquida, y un ciclo de lixiviado más corto también, y una cantidad más pequeña de disolvente es usada, en comparación con el circuito de cocorriente o flujos paralelos.

La nueva solución de lixiviado, una solución de ácido sulfúrico con concentración variada entre 50 g/L a cerca de 200 g/L, es aplicada a la superficie de encima o superior del cúmulo de la última etapa, o etapa 3 en el caso de un sistema de tres etapas, y las soluciones percoladas de cada etapa son recolectadas separadamente, en recipientes individuales, y usadas en la siguiente etapa de acuerdo a la dirección del flujo.

Las soluciones de las etapas 2 y 3 son designadas como solución intermedia 2 (ILS2) y solución intermedia 3 (ILS3) respectivamente, y así en sucesión.

La solución final decantada con los metales objetivo, la solución de lixiviado preñada (PLS), tiene una acidez residual entre cerca de 10 y cerca de 30 g/L.

Al final del proceso de lixiviado (IV), en la última etapa, o etapa 3 en un sistema de tres etapas, el mineral es lavado con agua nueva o agua del proceso. Después de ser lavado. El mineral lixiviado es transportado a un área que ha sido impermeabilizada y preparada para la disposición final de los residuos de lixiviación. Es importante entender que, ya que es un proceso continuo, tan pronto como el lixiviado del mineral termina en la última etapa, o etapa 3 por ejemplo, el mineral que estaba en la etapa 2 pasa a la etapa 3, y aquel en la etapa 1 pasa a la etapa 2, y una nueva sección (o cúmulo) entra en la etapa 1.

El proceso de lixiviado por cúmulos, que es objeto de la presente invención, puede ser aplicado a minerales que contienen cantidades grandes de finos naturales, y es también una opción para el tratamiento de fracciones de granos gruesos (por ejemplo, sobre 0,5 mm en tamaño de grano). En este último caso, la fracción de grano fino estaría sometida al tratamiento convencional por vía de autoclave bajo alta presión, o a lixiviación atmosférica, o una combinación de dos procesos de lixiviado.

La invención también considera el producto final que contiene níquel, cobalto, y otros metales de minerales de laterita, obtenido por un proceso de lixiviación por cúmulos (IV), o la solución decantada con metales objetivo (PLS) obtenida por el proceso de acuerdo con la invención, ya informado.

Alternativas diferentes son evaluadas para el tratamiento de la solución preada (PLS), la solución efluente de la etapa 1, por ejemplo, producción de percipitado

mezclado, o verticalización del proceso hasta la producción de níquel metálico.

La solución preñada es sometida a extracción del hierro y el aluminio presente, por precipitación en etapas con la adición de un reactivo alcalino. Luego, la solución libre de hierro y aluminio, o a lo sumo con niveles aceptables de tales, es enviada para la extracción del níquel y el cobalto (6), que pueden ser extraídos o recuperados mediante diversas técnicas, tales como la precipitación, extracción con disolvente, o aún intercambio iónico. Con la extracción con disolvente o el intercambio iónico se obtiene una resina de níquel metálico; con la precipitación, se produce un hidróxido o sulfuro de níquel, cobalto, cinc, y otros metales base mezclados.

La presente solicitud hace referencia a ciertas condiciones operativas, tales como la altura del cúmulo, el tamaño de grano del mineral, y la concentración del ácido sulfúrico entre otras, sin limitar su exclusividad, y destacando que estas condiciones pueden variar en cda una de las etapas de lixiviación por cúmulos sin deteriorar la salida final del proceso.

Aunque un proceso operacional preferido ha sido descrito e ilustrado, se destaca que son posibles y ejecutables alteraciones en este proceso, sin salirse del alcance de la presente invención.

EJEMPLO 1

Para poder evaluar la aplicabilidad del lixiviado por cúmulos a una fracción de rechazo (>0,5 mm) del beneficio de un mineral de laterita por la ruta HPAL/lixiviado atmosférico, se compusieron tres muestras, cuyos analisis químicos de dan en la TABLA 3 abajo y fueron sometidas a ensayos en columnas de 1 m de altura.

Análisis químico de las muestras alimentadas

Descripción	Al (%)	Co (%)	Cr (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mg (%)	Mn (%)	Ni (%)	Si (%)	Ti (%)	Zn (%)
Muestra 1	0.83	0.03	0.58	0.02	9.65	1.55	0.21	0.31	33.65	0.05	0.02
Muestra 2	0.72	0.03	0.67	0.03	8.54	9.52	0.11	0.46	25.10	0.03	0.03
Muestra 3	2.37	0.09	0.78	0.06	10.20	6.42	0.37	1.36	24.70	0.24	0.05

TABLA 3

El GRÁFICO 1, adjunto aquí, muestra la distribución de níquel en estas muestras. El níquel es encontrado principalmente en filosilicatos (serpentin y cloritos).

El tamaño de grano de las muestras fue determinado al 100% por debajo de 1,27 mm. Las distribuciones del tamaño de grano se muestran en el GRÁFICO 2 adjunto aquí. Las otras condiciones para la ejecución de estos ensayos fueron como sigue: rata de percolación de 10 L/h/m²; concentración de ácido sulfúrico en la solución de lixiviado, 20

g/L; dosis ácida en la aglomeración, 20 kg/ton de mineral; ensayos de circuito abierto.

Estos ensayos preliminares indicaron el potencial para la extracción de níquel por medio de la operación unitaria de lixiviación por cúmulos. Sin embargo, las curvas de extracción de níquel en el GRÁFICO 3, adjunto aquí, muestra que el sistema requiere más ácido, por ejemplo, mediante una solución de lixiviación con una concentración más alta. La baja concentración de ácido puede haber sido un factor para una cinemática lenta. En 100 días de operación, las muestras 1, 2 y 3 alcanzaron 34%, 58% y 69% de extracción de níquel, respectivamente.

EJEMPLO 2

Los ensayos se llevaron a cabo en columnas de 1 m de altura, y también en columnas de 4 m de altura para una evaluación preliminar de la influencia de la altura sobre la extracción del níquel. Estos ensayos fueron ejecutados sobre muestras de cuatro litologías diferentes, y también sobre una muestra compuesta de litotipos individuales. Todas las muestras fueron trituradas hasta un tamaño de grano 100% por debajo de 12,5 mm. La rata de percolación fue constante e igual a 10 L/h/m². La concentración de ácido sulfúrico en la solución de lixiviación fue de 20 a 200 g/L en las columnas de de 1 m de altura, y 50 g/L en las columnas de 4 m de altura.

Las curvas de extracción de níquel para los diferentes tipos de minerales, bajo condiciones de acidez distintas, confirmó la influencia de esta variable sobre el proceso. La mayor acidez lleva a cinemáticas más rápidas.

La extracción de níquel varió de acuerdo a la minerología. La minerología que era más refractaria al proceso, y por lo tanto produjo menores niveles de extracción de níquel, fue aquella en la cual una cantidad significativa de níquel estaba contenida en los hidróxidos de hierro. La refractariedad se entiende en términos de la forma de ocurrencia del Ni, que en la estructura cristalina de los hidróxidos de hierro requiere más energía en el sistema para superar la alta energía de los enlaces en estos hidróxidos. Los átomos de Ni son menos accesibles a la solución de lixiviación.

El GRÁFICO 4 (extracción de níquel de mineral saprolítico) y el GRÁFICO 5 (extracción de níquel de mineral ferroginoso o limonítico), adjuntos aquí, muestran las curvas de extracción para los ensayos en columnas de 1 m de altura, para dos de los tipos de mineral evaluados.

Los ensayos llevados a cabo en minicolumnas permitieron la evaluación de la extracción de níquel máxima posible esperada obtenida. Ya que todos los tipos alcanzaron la estabilización en ciclos de 100 días, se asumió que este tiempo era el ciclo total, y la concentración del ácido fue variada cada 20 días, desde 20 a 200 g/L y luego de 22 a 20 g/l. La influencia de la concentración del ácido en el proceso fue confirmada una vez más. En el ensayo con valores de acidez aumentantes, se observó que la inflexión de

la curva cambiaba con los incrementos en la acidez. En el ensayo con valores de acidez que disminuyen, se observó que este efecto no era significativo.

En estos ensayos, tres etapas principales fueron identificadas en el proceso de lixiviación bajo evaluación: neutralización, lixiviación primaria, y lixiviación secundaria, como se muestra en el GRÁFICO 6 (etapas de lixiviación) adjunto aquí. En la primera etapa, las reacciones principales involucra los minerales que ya son solubles, especialmente las especies que llevan magnesio, y por lo tanto esta etapa se ha identificado como neutralización. Existen tres cinéticas diferentes, dependiendo en como está distribuido el níquel en los minerales: El Ni adsorbido entre placas (interplaca) de filosilicatos es extraído más fácilmente que el Ni dentro de la estructura (intraplaca) de estos mismos minerales, que a su vez produce más extracción que el Ni contenido en hidróxidos de hierro.

Este comportamiento de diferentes zonas de lixiviación indicó la importancia de evaluar el circuito de acuerdo al principio de contracorriente.

El GRÁFICO 7, adjunto aquí, muestra las curvas de extracción de níquel obtenidas para las cuatro topologías en columnas de 4 m de altura.

EJEMPLO 3

Se evaluaron tres opciones diferentes de circuito de lixiviado, las curvas de extracción se presentan en el GRÁFICO 8 adjunto aquí: circuito abierto, circuito en contracorriente con tres etapas (circuito con ISL), y circuito con recirculación PLS y corrección de la concentración de ácido.

Para el circuito ILS, se consideró el ciclo total en 150 días, con tres etapas de 50 días cada una. El circuito de contracorriente (ILS) se presenta en sí mismo como la mejor alternativa para los minerales evaluados, al sustancialmente acortar el ciclo de lixiviación y disminuir el volumen total de la solución y el consumo de ácido también, como se muestra en la TABLA 4 abajo:

Tipo de Circuito	Ciclo de Lixiviación (días)	Extracción de Ni (%)	Extracción de Co (%)	Consumo de H ₂ SO ₄ (kg/ton of mineral)
ILS	150	84	70	280
Abierto	270	87	72	560
Con reciclado y corrección de acidez	270	84	70	250

TABLA 4

EJEMPLO 4

Los ensayos se llevaron a cabo sobre la misma muestra, en columnas de 4 m de altura, para evaluar la influencia del tamaño de grano sobre la extracción de níquel. Las otras condiciones del proceso, tales como la concentración de la solución de lixiviación, la rata de percolación, las condiciones de aglomeración, se mantuvieron constantes. Se observó que, para muestras altamente porosas en adición a finos presentes naturalmente en el mineral, no hay un impacto significativo sobre la extracción de níquel para un tamaño tope de 12,5 mm o 50,0 mm, como se muestra en el GRÁFICO 9 (evaluación de la influencia del tamaño de grano sobre la extracción de níquel) adjunto aquí.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para la extracción del níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita mediante lixiviación por cúmulos, caracterizado por que comprende los pasos de

- (I) triturar el mineral de laterita;
- (II) aglomerar el mineral de laterita triturado;
- (III) apilar el mineral aglomerado; y
- (IV) lixiviar por cúmulos el mineral apilado;

en donde el paso de triturar el mineral de laterita comprende un primer subpaso de triturado; un segundo subpaso de triturado en donde se obtiene un tamaño de grano máximo entre 25,0 mm y 50,0 mm; y un tercer subpaso de triturado en donde se obtiene un tamaño de grano máximo entre 12,5 mm y 6,30 mm, y

en donde el paso de lixiviar por cúmulos se lleva a cabo en un sistema de lixiviación por cúmulos en contra corriente y continuo que comprende al menos dos etapas en serie y dos fases, una fase está compuesta del mineral (solute), y la otra está compuesta de la solución de lixiviación;

El mineral (solute) pasa secuencialmente por cada una de las etapas desde una primera hasta la última de las

etapas, y dicha solución fluye en una dirección opuesta desde la última etapa hasta la primera;

De modo que el mineral (solute) en la última etapa es lixiviado por una nueva solución de lixiviación y el mineral (solute) de las otras etapas es lixiviado por la solución de lixiviación que ya lixivió el mineral en una etapa inmediatamente adyacente;

En donde, luego de la cesación del lixiviado en la última etapa, el soluto es removido y un nuevo mineral (solute) es introducido en la primera etapa;

la solución de lixiviación, después de fluir por el mineral (solute) de la primera etapa es una solución de lixiviación preñada (PLS);

La solución de lixiviación preñada (PLS) se separa para obtener níquel, cobalto u otros metales objetivo cuando la solución de lixiviación preñada (PLS) está impregnada con níquel, cobalto u otros metales objetivo.

2. El proceso para la extracción de níquel, cobalto, y otros metales minerales de laterita por lixiviación por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el paso de triturar comprende subpasos de triturado para poder obtener un tamaño de grano adecuado para el proceso.

3. El proceso para la extracción del níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita por lixiviación por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque se agrega agua al mineral triturado antes de que este sea enviado al paso de aglomerar.
4. El proceso para la extracción del níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita por lixiviación por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque durante el paso de aglomerar (II), hay adición de agua y ácido.
5. El proceso para la extracción del níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita por lixiviación por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque durante el paso de aglomerar, hay también el agregar un agente de aglomerado inerte a dicho ácido.
6. El proceso para la extracción del níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita por lixiviación por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado porque el ácido se selecciona entre ácido sulfúrico concentrado ó ácido sulfúrico en solución.
7. El proceso para la extracción del níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita por lixiviación

por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque después del paso de aglomerar el mineral de laterita triturado, el mineral queda conformado por pedazos de más de 1,70 mm.

8. El proceso para la extracción de níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita por lixiviación por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque los minerales apilados forman cúmulos de tipo dinámico.
9. El proceso para la extracción del níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita por lixiviación por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 8, caracterizado porque el mineral apilado forma cúmulos con alturas desde 2 m a 7 m.
10. El proceso para la extracción del níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita por lixiviación por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el sistema de lixiviación por cúmulos continuo en contracorriente comprende tres etapas.
11. El proceso para la extracción del níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita por lixiviación por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la nueva solución de lixiviación comprende una solución de ácido sulfúrico.

12. El proceso para la extracción del níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita por lixiviación por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado porque la concentración del ácido sulfúrico está entre 50 g/L y 200 g/L.
13. El proceso para la extracción del níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita por lixiviación por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la nueva solución de lixiviación es introducida por la cara superior, o la parte de arriba, de la última etapa.
14. El proceso para la extracción del níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita por lixiviación por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque las soluciones percoladas de cada etapa (ILS) son recolectadas de manera separada y son usadas en la etapa subsiguiente, de acuerdo con la dirección del flujo.
15. El proceso para la extracción del níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita por lixiviación por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la solución del lixiviado preñada

(PLS) presenta una acidez residual entre 10 g/l y 30 g/l.

16. El proceso para la extracción del níquel, cobalto y otros metales de minerales de laterita por lixiviación por cúmulos, de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque al final del proceso de lixiviación en la última etapa, el mineral lixiviado es lavado con nueva agua o con agua del proceso, y luego se considera como un residuo.