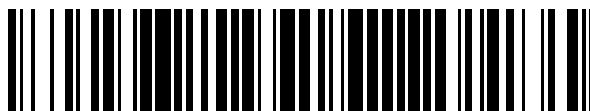


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 287**

51 Int. Cl.:

C22B 3/24 (2006.01)

C22B 3/42 (2006.01)

C22B 23/00 (2006.01)

B01D 15/00 (2006.01)

B01J 39/00 (2006.01)

B01J 45/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.02.2007 E 07701606 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **25.03.2009 EP 2038437**

54 Título: **Procedimiento híbrido que utiliza resinas de intercambio iónico en la recuperación selectiva de níquel y cobalto de los efluentes de lixiviación**

30 Prioridad:

02.02.2006 BR PI0600901

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

30.01.2013

73 Titular/es:

**VALE S.A. (100.0%)
Avenida Graça Aranha nº 26 Edifício Barão de Mauá - Centro
20030-001 Rio de Janeiro, BR**

72 Inventor/es:

**COSTA, RENATO DE SOUZA y
MENDES, FLÁVIA DUTRA**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 394 287 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento híbrido que utiliza resinas de intercambio iónico en la recuperación selectiva de níquel y cobalto de los efluentes de lixiviación.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento híbrido que utiliza resinas de intercambio iónico en la recuperación selectiva de níquel y cobalto de los efluentes de lixiviación, que consta al menos de dos etapas de resina, y más específicamente a un bucle híbrido de dos etapas de resina, siendo la primera etapa de intercambio iónico la responsable de la separación de hierro, aluminio y cobre de la solución así como del aumento del pH de la solución, y siendo la segunda etapa de intercambio iónico la responsable de la separación de níquel y cobalto.

10 Como es conocido por los expertos en esta técnica, se han desarrollado varias rutas hidrometalúrgicas para la extracción de níquel y cobalto presentes en los minerales lateríticos.

15 El objeto de las rutas es solubilizar las especies metálicas utilizando un ácido inorgánico a través de la lixiviación en pilas o en tanques en condiciones de presión atmosférica y temperatura por debajo del punto de ebullición o en recipientes presurizados. La solución resultante se somete entonces a una etapa de neutralización (separación de cobre, hierro, aluminio) y separación sólido-líquido (opcional), y al menos a una etapa de purificación de la solución y la recuperación final en la forma metálica o producto intermedio.

La recuperación selectiva del metal presente en el efluente de lixiviación es un paso importante en la concepción de la evaluación económica. La presencia de muchas impurezas, tales como cobre, hierro, aluminio, manganeso y magnesio, entre otras, se puede considerar como la principal dificultad tecnológica a superar.

20 Una de las opciones puede incluir los métodos físicoquímicos, tales como el uso de materiales de intercambio iónico, la precipitación selectiva y la extracción con disolventes. En el caso específico de níquel y cobalto, estos metales tienen propiedades químicas bastante similares, lo que facilita las operaciones para la recuperación mutua de tales metales, ya sea mediante la precipitación en forma de sulfuros mixtos o hidróxidos mixtos, o mediante la extracción utilizando disolventes en un medio clorhídrico, o finalmente mediante la aplicación de intercambiadores iónicos tipo resinas poliméricas.

25 El intercambio iónico se puede definir como un intercambio iónico reversible entre un sólido y un electrolito acuoso, de tal modo que no hay ningún cambio significativo en la estructura del sólido. En este caso, el sólido es el material de intercambio iónico que puede tener naturaleza inorgánica, por ejemplo, zeolitas, o naturaleza orgánica, que incluye los materiales basados en resinas poliméricas sintéticas. La matriz de una resina está compuesta de una cadena hidrocarbonada elástica y tridimensional, de alto peso molecular, insoluble, irregular, macromolecular, que se deriva de la copolimerización de estireno y divinilbenceno. En la matriz, los grupos funcionales positivos y negativos están fuertemente unidos (iones fijos), y están compensados por los iones de carga opuesta (iones opuestos). Estos están libres para moverse dentro de la matriz y pueden ser estequiométricamente sustituidos por otros iones de la misma carga. Por contraste, los llamados co-iones son todas las especies iónicas que pueden estar presentes en el intercambiador iónico y presentan la misma carga que los iones fijos. Los principales tipos de resinas que se usan comercialmente incluyen resinas catiónicas que, dependiendo del grado de acidez del grupo funcional, pueden ser de ácidos débiles o fuertes, y resinas aniónicas que, dependiendo del grado de basicidad, pueden ser de bases débiles o fuertes, en adición a las resinas quelantes. Ciertos materiales que se llaman anfóteros son capaces de realizar tanto el intercambio catiónico como aniónico.

40 Las resinas quelantes han sido desarrolladas para recuperar selectivamente los metales de transición en solución, tales como níquel y cobalto, puesto que ellas forman complejos quelantes altamente estables o quelatos heterocíclicos metálicos con dichos cationes. Los quelatos se pueden definir como cualquier compuesto en el que se forma un anillo, que resulta de una unión coordinada entre dos o más sitios pequeños de una molécula y un ion metálico.

45 Las resinas quelantes se pueden considerar como las representativas del grupo de resinas poliméricas de intercambio iónico para aplicación hidrometalúrgica que están indicadas para la separación selectiva de metales pesados, tales como níquel y cobalto, a partir de soluciones acuosas ácidas. Estos intercambiadores son copolímeros que tienen grupos funcionales que están unidos covalentemente y contienen uno o varios átomos donadores (base de Lewis) que pueden formar uniones coordinadas con la mayor parte de los cationes polivalentes de metales pesados (ácido de Lewis). Usualmente los grupos funcionales de las resinas quelantes contienen átomos tales como nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre. Los ejemplos de grupos funcionales quelantes incluyen amidoxima, aminofosfonato, carbamatos, poliaminas, piridinas, iminodiacetato y picolilamina. Se presentan también interacciones culómbicas e hidrófobas; sin embargo, su contribución a la alta selectividad de iones metálicos es relativamente pequeña cuando se compara con las interacciones ácido-base de Lewis. Estas resinas se pueden regenerar normalmente con soluciones ácidas (ácido sulfúrico o clorhídrico), alcanzando de este modo una alta eficacia.

55 La resina de intercambio iónico se considera que es una opción tecnológica para la purificación/recuperación de metales en un medio acuoso. Esta técnica es parte de los diagramas de flujo hidrometalúrgicos de los minerales lateríticos de níquel que requieren necesariamente una etapa de lixiviación, como un modo para extraer el metal del

mineral. La tecnología de la resina se puede aplicar a las plantas existentes cuando se emplean procedimientos de decantación contracorriente (CCD), y se puede aplicar también directamente al efluente de la lixiviación cuando se está desarrollando el proyecto, con el fin de reducir costes y de reducir el impacto sobre el medio ambiente.

5 La lixiviación se puede llevar a cabo utilizando agentes de lixiviación ácidos o básicos en pilas o en tanques en condiciones atmosféricas, o en vasos presurizados. Una vez que se ha extraído el metal del mineral y se ha solubilizado en una solución acuosa, se puede aplicar al efluente en la forma de una pulpa o solución, la técnica de intercambio iónico que utiliza resinas, con preferencia las de tipo quelante, para la recuperación de níquel y cobalto.

10 El documento WO 2006/029443 describe la producción de mata de hierro-níquel o mata de níquel que comprende una solución de níquel con níquel, hierro, cobalto y otras impurezas que se trata por una etapa de intercambio iónico en la que la mayor parte del níquel y algo del hierro se retiene sobre la resina que recubre el níquel y el hierro a un pH de aproximadamente 1,0 a 2,5. La mayor parte del hierro, otras impurezas y cobalto permanecen en la solución del refinado y pasan a la siguiente etapa. El níquel y el hierro retenidos se eluyen. Aunque el documento WO 2006/029443 describe dos etapas de intercambio iónico, la primera etapa de intercambio iónico recupera el níquel y el hierro y el cobalto, y el hierro y otras impurezas pasan a la siguiente etapa.

15 El documento US 3.839.186 describe un método para producir níquel de alta pureza a partir de la mata de níquel, que comprende las etapas de: desmenuzar la mata para obtener óxido de níquel; disolver el óxido de níquel impuro en ácido clorhídrico concentrado; oxidar al estado férrico el hierro que está contenido en la solución impura; separar las impurezas de esta solución por medio de una resina de intercambio iónico y eluir las impurezas para recuperar el cobalto; y someter la solución purificada a una electrolisis para recuperar el níquel de alta pureza.

20 El documento JP 57019344 se refiere a un método para separar el cobre de una solución que contiene o níquel o cobalto descargada a partir de un proceso de refinado de níquel o cobalto.

La aplicación de la técnica de intercambio iónico que utiliza resinas poliméricas para la adsorción selectiva de níquel puede tener lugar de dos maneras, esto es, o para la resina en una solución o para la resina en una pulpa.

25 En el primer tipo de operación, se somete a percolación una solución que tiene metales disueltos en la misma, por ejemplo, a través de un lecho fijo de resina de modo que pueda tener lugar la adsorción, mientras que en el segundo tipo de operación una pulpa mineral se pone directamente en contacto con la resina, mediante un sistema de agitación, de modo que pueda tener lugar la adsorción del metal sin necesidad de una etapa costosa para la separación sólido-líquido de la pulpa. Después del contacto, la separación entre la resina y la pulpa se realiza mediante tamizado.

30 En los diagramas de flujo del proceso de mineral laterítico de níquel, se puede adoptar cualquiera de las dos opciones. Para la aplicación de la resina en solución, se requiere una etapa previa de separación sólido-líquido. En esta etapa, en adición a un coste importante de capital y operacional, se observa la ocupación de grandes áreas y cantidades importantes de agua consumida, también hay una pérdida de níquel inherente a la ineficiencia del procedimiento, debido a la dificultad de lavar los sólidos y recuperar las especies disueltas. Por esta razón, se sugiere en muchos casos la aplicación del procedimiento que utiliza la resina en pulpa, porque la recuperación del metal disuelto en la propia pulpa se realiza después de la lixiviación, utilizando un intercambiador iónico y por lo tanto no se requiere la separación sólido-líquido.

35 Si se usa el procedimiento que utiliza la resina en pulpa en la recuperación del níquel a partir de la lixiviación ácida, se pueden obtener los siguientes beneficios: 1) el uso de resinas convencionales, que también son selectivas para el hierro, requiere una neutralización previa antes de la recuperación del níquel. El hidróxido férrico precipita fácilmente mediante la adición de cal o carbonato cálcico y llega a formar parte de la pulpa. 2) La neutralización de la acidez de la pulpa se realiza convenientemente en la propia etapa de adsorción durante el contacto. Se pueden utilizar reactivos tales como cal o carbonato cálcico y la suspensión formada durante la neutralización llegaría a formar parte de la pulpa. 3) La lixiviación ácida, seguida por neutralización, puede producir o una pulpa que es difícil de sedimentar o sólidos que, cuando se separan, son difíciles de lavar. El procedimiento que utiliza la resina en una pulpa puede resolver dichas dificultades operacionales mediante la eliminación de la etapa de separación sólido-líquido. 4) En este procedimiento, tiene lugar el fenómeno de sorción-lixiviación, puesto que durante el contacto, una porción del níquel precipitado en la neutralización es re-lixiviado y, cuando es devuelto a la solución, es adsorbido inmediatamente por la resina. Por lo tanto, la aplicación de resina en una pulpa produce la minimización de tales pérdidas, recuperando aproximadamente el 20 % del níquel que había co-precipitado inicialmente.

55 El intercambio iónico es una tecnología que ha sido mejorada con diversos métodos y resultados bastante prometedores. El uso de la técnica de intercambio iónico utilizando resinas poliméricas, a la vez que proporciona una nueva aplicación industrial en los diagramas de flujo de procesos de mineral de níquel, ofrece varias ventajas, tales como la ausencia de pérdidas de reactivos como es común en los procedimientos de extracción que utilizan disolventes, la recuperación y separación eficientes de pequeñas concentraciones de algunos iones metálicos con relación a un exceso de otros metales, alta selectividad para los metales de interés, mayor capacidad de separación, regímenes flexibles de procedimientos, configuración sencilla del procedimiento, producto con alta pureza y alta concentración del metal de interés con relación a las otras impurezas, y alto nivel de automatización. Tales

características dan como resultado un coste de capital y operacional más bajo en adición a un impacto menor sobre el medio ambiente, porque hay un menor consumo de agua y es posible reciclar el agua.

5 A pesar de las ventajas descritas aquí anteriormente, la aplicación de resinas convencionales que están comercialmente disponibles para la recuperación selectiva del níquel en el tratamiento de la laterita es una nueva tecnología industrial que todavía presenta varias restricciones y dificultades operacionales.

10 Una de las deficiencias que se pueden mencionar aquí es que como una función de la alta selectividad para los iones hidrógeno, el pH de la solución se debe aumentar a valores más altos que $\text{pH} = 3,0$. Solamente de este modo las resinas convencionales pueden ser selectivas para el níquel y presentar altas propiedades de adsorción para este metal. De lo contrario, en presencia de un exceso de iones hidrógeno (pH bajo), estos serán adsorbidos con preferencia, dificultando así el procedimiento de adsorción de níquel.

Otra deficiencia notable es que la solución total que resulta de la lixiviación ácida del mineral de níquel tiene muchos metales disueltos en ella, además del níquel y el cobalto, que se denominan impurezas. Puesto que la mayor parte de las resinas que son selectivas para el níquel, son también selectivas para hierro, cobre y aluminio, se requiere entonces una etapa previa para tratar la solución con el fin de eliminar tales impurezas.

15 Actualmente, hay técnicas que se han implantado en un esfuerzo para resolver estos problemas, tales como la adición de una etapa de neutralización, inmediatamente después de la lixiviación, con la adición de cal, carbonato de calcio, sosa o amoníaco, para precipitar las impurezas y aumentar el pH simultáneamente.

20 Aunque es muy eficiente para corregir las limitaciones técnicas, tales como el exceso de ácidos de la solución y la presencia de impurezas en solución, la neutralización presenta el inconveniente de una pérdida significativa de níquel que es co-precipitado con las impurezas.

Otro inconveniente observado en este proceso de neutralización es la necesidad de una etapa costosa de separación sólido-líquido, en el caso en que se haya seleccionado la aplicación de la resina en solución.

25 En ambos casos, la resina en solución o la resina en pulpa, en realidad es necesaria una etapa para neutralizar la acidez, para aumentar el pH y para eliminar las impurezas mediante la precipitación, como se muestra en el diagrama de flujo del proceso en la figura 1. Esta etapa de neutralización es necesaria en el proceso, sin embargo presenta las grandes desventajas ya citadas, tales como pérdidas del níquel co-precipitado junto con las impurezas y también la necesidad de una etapa de separación sólido-líquido, en el caso en que se escoja el uso de resina en solución.

30 Es esencial mencionar que la aplicación de la resina en pulpa, aunque presenta todas las ventajas ya mencionadas, también tiene algunas limitaciones y riesgos técnicos, tales como la falta en el mercado de una resina que presente alta resistencia mecánica y abrasiva para ser puesta en contacto con una pulpa. Por esta razón, muchas veces la aplicación de la resina en solución se considera que es la mejor opción, y por lo tanto se puede ver que el mineral se debe someter a un pre-tratamiento con las desventajas de una pérdida de níquel en el precipitado, seguido por la costosa etapa de separación sólido-líquido.

35 Este problema se ve significativamente agravado cuando se realiza la lixiviación en pilas. El efluente de esta operación, en la forma de una solución, está ya preparado para ser añadido a la etapa de resina en solución. Es un efluente libre de sólidos, en la forma de una solución clarificada, y por lo tanto, adecuado para ser añadido a un lecho de resina fijo, por ejemplo, en una columna. La necesidad de una etapa previa de pre-tratamiento genera varias complicaciones, tales como la formación de una pulpa, con pérdidas del níquel contenido en el precipitado, que debería ser sometido entonces a la separación sólido-líquido, y después la solución clarificada se añade a la columna de intercambio iónico.

Un objeto de la presente invención es, por lo tanto, proporcionar un procedimiento híbrido que utiliza una resina de intercambio iónico que elimina la etapa de neutralización (pre-tratamiento) de la solución.

45 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento híbrido que utiliza resinas de intercambio iónico que hacen posible purificar los efluentes de la lixiviación de un modo rentable.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento híbrido que utiliza una resina de intercambio iónico que evita las pérdidas de níquel en el precipitado a través de la co-precipitación.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento híbrido que utiliza una resina de intercambio iónico que evita la separación sólido-líquido de la pulpa generada en el mismo.

50 Estos y otros objetos y ventajas de la presente invención se obtienen mediante un procedimiento híbrido, como se define en la reivindicación 1, que utiliza una resina de intercambio iónico que comprende la inclusión de un primer circuito de resina catiónica, cuyos iones móviles son preferiblemente metales alcalinos, con el fin de proporcionar un aumento simultáneo en el pH de la solución además de la adsorción de impurezas. El procedimiento híbrido de intercambio iónico comprende una primera etapa de intercambio iónico que utiliza resinas en condiciones

específicas de selectividad para la separación de hierro, aluminio y cobre y aumento del pH, y una segunda etapa de intercambio iónico, preferiblemente con resinas del grupo iminodiacético que hace posible separar el níquel y el cobalto.

La presente invención se describe a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 5 la Figura 1 representa un diagrama de flujo del procedimiento convencional para la extracción de níquel en minerales lateríticos; y

la Figura 2 representa un diagrama de flujo del procedimiento híbrido que aplica dos circuitos de resinas de intercambio iónico para la recuperación selectiva de impurezas en una primera etapa y la recuperación selectiva de níquel y cobalto desde los efluentes de lixiviación en una segunda etapa.

- 10 Se debe señalar que se puede encontrar en el mercado una resina (grupo picolilamina) que es capaz de adsorber el níquel en condiciones extremadamente ácidas y en presencia de altas concentraciones de impurezas, sin embargo su coste es extremadamente alto para la mayor parte de los proyectos del níquel. Para dicha resina, no se aplica el procedimiento completo que se propone y se sugiere en este texto, puesto que no se requiere un pre-tratamiento, ni siquiera la eliminación de impurezas, ni incluso el aumento de pH, y por tanto no existen los inconvenientes que resultan de dicha etapa.

De acuerdo con estas figuras, la solución que ha sido propuesta es la eliminación de la etapa de pre-tratamiento (neutralización) de la pulpa con el fin de aumentar el pH y precipitar las impurezas tales como hierro, aluminio y cobre, evitando de este modo las pérdidas de níquel en el precipitado a través de la co-precipitación y la necesidad de la separación sólido-líquido de la pulpa generada.

- 20 La propuesta comprende la operación de un circuito híbrido de dos etapas que utiliza resinas de intercambio iónico que pueden incluir la misma resina o diferentes resinas, que pueden ser de diferentes tipos, de diferentes grupos funcionales y de diferentes fabricantes. Las dos etapas que utilizan resinas de intercambio iónico se podrían aplicar a la solución que procede de la etapa de separación sólido-líquido de plantas existentes, o al efluente procedente de la etapa de lixiviación de proyectos que han sido desarrollados, que contiene metales disueltos, incluyendo altas concentraciones de hierro, aluminio, manganeso y magnesio, en adición al níquel, cobalto y cobre.

- 25 Como se puede ver en el diagrama de flujo presentado en la Figura 2, el comienzo del procedimiento híbrido que utiliza resinas de intercambio iónico es similar a los convencionales, esto es, se procesa el mineral laterítico (M) (1). Después de ser procesado (1), el mineral (M) se trata mediante lixiviación (2) (en condiciones atmosféricas o bajo presión o una combinación de ambas) o también se puede considerar una solución procedente de la etapa de separación sólido-líquido de las plantas ya existentes en operación (2).

- 30 El efluente (E1) procedente de tal tratamiento se espera que sea ácido ($\text{pH} < 2$) y no debe ser sometido a la etapa de pre-tratamiento (i) como ocurre en los procedimientos convencionales. La primera etapa (3) del circuito híbrido de intercambio catiónico, cuyos iones móviles son necesariamente metales alcalinos acondicionados en una forma disódica, debería proporcionar un aumento de pH. El objeto de esta etapa es eliminar las impurezas, tales como
- 35 hierro, cobre y aluminio, después las resinas (Re) deberían presentar una adsorción preferente para el hierro, cobre y aluminio en condiciones altamente ácidas, tales como las obtenidas en los efluentes de la lixiviación (2) de los minerales de níquel (M).

- 40 El objeto de la primera etapa de intercambio iónico (3) es recuperar el hierro, cobre y aluminio, y rechazar el níquel y cobalto. Con el fin de que esto se lleve a cabo de forma efectiva, el pH de la solución/pulpa que alimenta esta etapa debe ser bajo (inferior a $\text{pH} = 2,5$), similar a las condiciones ácidas del efluente (E1) de las lixiviaciones (2) de los minerales lateríticos (M). En tales condiciones y mediante el uso de una resina adecuada catiónica o quelante, las impurezas (hierro, cobre y aluminio) deben ser adsorbidas en la resina (Re) y por lo tanto recuperadas, al mismo tiempo se rechazan el níquel y cobalto, y permanecerán en la solución. El uso de una resina (Re) regenerada con iones de metales alcalinos en una forma disódica por ejemplo, es básicamente importante, porque estos iones
- 45 móviles serán cambiados por iones Fe^{3+} , Al^{3+} y Cu^{2+} , y entonces los iones de metales alcalinos, volverán consecuentemente a la solución y aumentará el pH. El papel de la naturaleza básica de los iones de metales alcalinos presentes en la solución es aumentar el pH de la solución, de forma que la solución se pueda añadir a la segunda etapa de las resinas de intercambio iónico con un pH más alto.

- 50 La segunda etapa (4) de resinas, en serie con la primera etapa, y que será añadida con el efluente (E2) procedente de la primera etapa (3), se utiliza con el fin de recuperar el níquel y el cobalto de la solución, en condiciones ácidas más suaves y sin la interferencia de impurezas. Para que esto tenga lugar efectivamente, el pH de la solución debería ser superior a 1, preferiblemente tan cerca como sea posible de 4,0, que se alcanzará mediante el desplazamiento de los iones de metales alcalinos a la solución durante la recuperación por intercambio de la primera etapa. Si fuera necesario, se puede usar un reactivo de naturaleza básica para aumentar el pH, en una etapa intermedia entre las etapas 1 y 2. En tales condiciones de la segunda etapa, la resina quelante (Re), preferiblemente
- 55 con un grupo funcional de ácido iminodiacético, que se considera una resina atractiva en términos de coste, todavía presenta una alta selectividad para el hierro, aluminio y cobre. Puesto que tales impurezas han sido ya eliminadas

de la solución en la etapa previa, la resina (Re) de la segunda etapa (4) está entonces en mejores condiciones para la recuperación eficiente y selectiva de níquel y cobalto.

5 Las condiciones operacionales de las dos etapas deben ser diferentes, tales como, por ejemplo, las condiciones del pH del medio, el tamaño del equipo, el tiempo de residencia y la capacidad operacional. Las etapas pueden presentar la misma resina (Re) común a ambas, o también la opción de aplicar dos resinas (Re) distintas según las necesidades del efluente a tratar. Si se elige utilizar la misma resina (Re), esta será una alternativa perfectamente viable y por lo tanto la más recomendada.

10 Después de la segunda etapa (4), el procedimiento sigue las mismas etapas de un procedimiento convencional, por lo tanto, la resina (Re), que se carga con iones cobalto y níquel, se someterá a un procedimiento de elución (5), esto es, la resina (Re) será puesta en contacto con eluyentes, tales como ácido clorhídrico o sulfúrico o cualquier sal de amonio, separando de este modo los metales de la resina (Re) que se regenerará y se devolverá al circuito en la segunda etapa (4). Después de la elución (5), si fuera necesario, se realiza la separación de níquel y cobalto mediante la extracción por disolvente (6) y los metales recuperados pueden estar en la forma metálica o en cualquier otra forma mixta.

15 Por lo tanto, el procedimiento híbrido que utiliza resinas de intercambio iónico hace posible purificar el efluente, en la forma de una pulpa o solución, generado en las diferentes formas de lixiviación de los minerales de níquel (M) en general.

Aunque se ha descrito e ilustrado un concepto preferido de esta solución, se debe señalar que se pueden lograr otras soluciones sin separarse del alcance de la presente invención.

20

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento híbrido que utiliza resinas de intercambio iónico en la recuperación selectiva de níquel y cobalto de los efluentes de lixiviación, que comprende las etapas de:
- (i) procesar (1) el mineral laterítico;
- 5 (ii) lixiviar (2) el mineral procedente de la etapa (i) por medio de un procedimiento de lixiviación en condiciones atmosféricas o a presión obteniendo un efluente (E1) con $\text{pH} < 2$;
- estando caracterizado dicho procedimiento híbrido por el hecho de que comprende también las etapas de:
- (iii) procesar el efluente (E1) por medio de una primera etapa (3) de intercambio iónico a partir de un circuito híbrido de resina catiónica o quelante cuyos iones móviles son metales alcalinos acondicionados en una forma disódica, recuperando las impurezas y rechazando el níquel y cobalto como una solución libre de impurezas (E2);
- 10 (iv) procesar la solución libre de impurezas (E2) por medio de una segunda etapa (4) de intercambio iónico a partir de un circuito híbrido de resina catiónica o quelante realizada a un valor de $\text{pH} > 1$ a 4, recuperando el níquel y el cobalto de la solución.
2. Un procedimiento híbrido que utiliza resinas de intercambio iónico en la recuperación selectiva de níquel y cobalto de los efluentes de lixiviación según la reivindicación 1, caracterizado porque en la etapa (iii) la resina regenerada con iones de metales alcalinos en una forma de disolución absorbe hierro, cobre y aluminio a partir del efluente (E1) aumentando el nivel de pH de la solución libre de impurezas hasta un límite > 1 a 4.
- 15
3. Un procedimiento híbrido que utiliza resinas de intercambio iónico en la recuperación selectiva de níquel y cobalto de los efluentes de lixiviación según la reivindicación 1, caracterizado porque opcionalmente después de la etapa (iii) y antes de la etapa (iv) tiene lugar una etapa intermedia de neutralización en la que se añade un reactivo fuertemente básico a la solución libre de impurezas (E2) aumentando su nivel de pH hasta un límite > 1 a 4.
- 20
4. Un procedimiento híbrido que utiliza resinas de intercambio iónico en la recuperación selectiva de níquel y cobalto de los efluentes de lixiviación según la reivindicación 1, caracterizado porque en la etapa (iv) la resina quelante se escoge de un grupo funcional de ácido iminodiacético.
5. Un procedimiento híbrido que utiliza resinas de intercambio iónico en la recuperación selectiva de níquel y cobalto de los efluentes de lixiviación según la reivindicación 1, caracterizado porque después de la etapa (iv) la resina de un circuito híbrido de resina catiónica o quelante se somete a un procedimiento de elución que separa los metales de esta resina, opcionalmente se realiza una etapa de separación de níquel y cobalto mediante una extracción con disolvente.
- 25

30

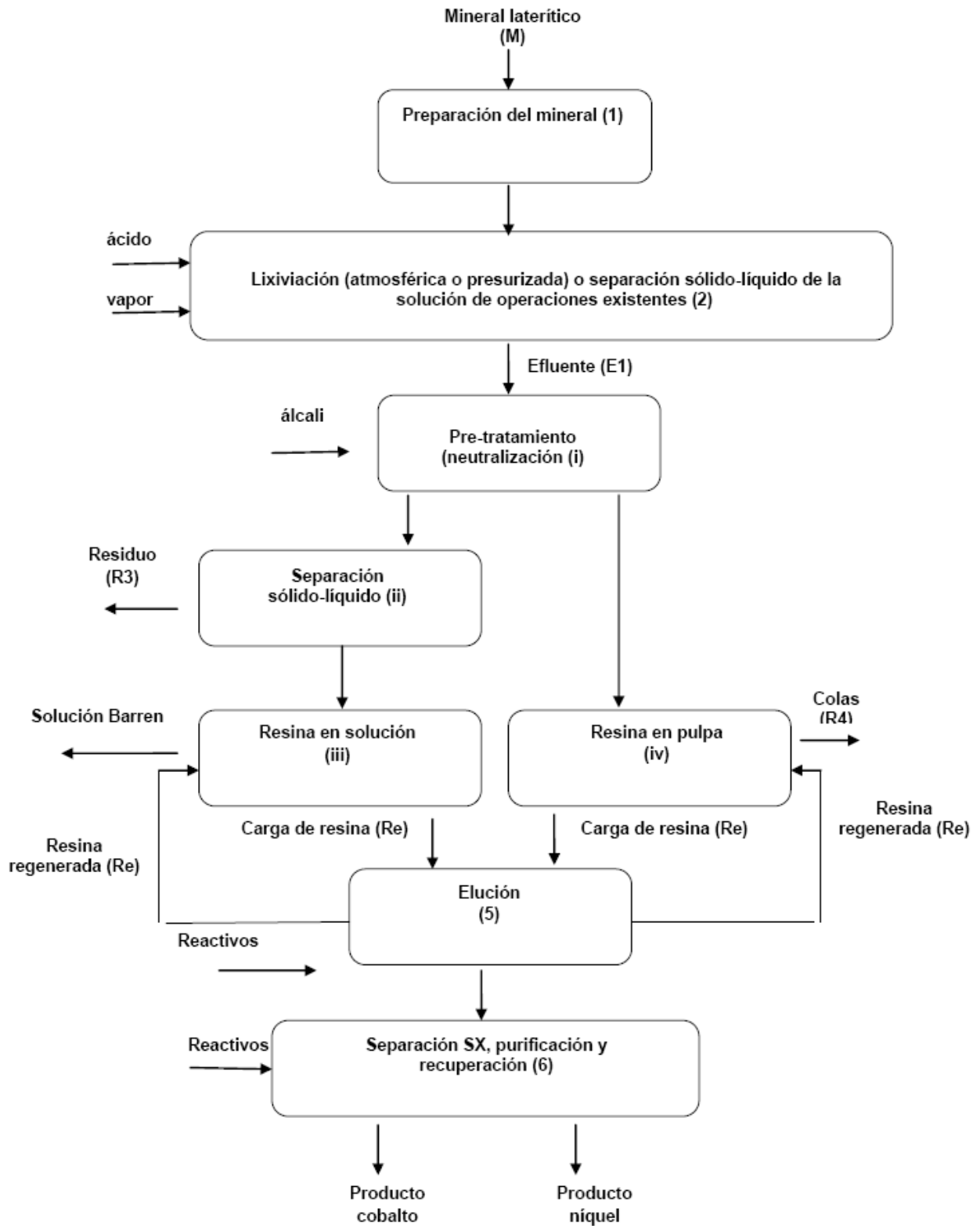


FIGURA 1

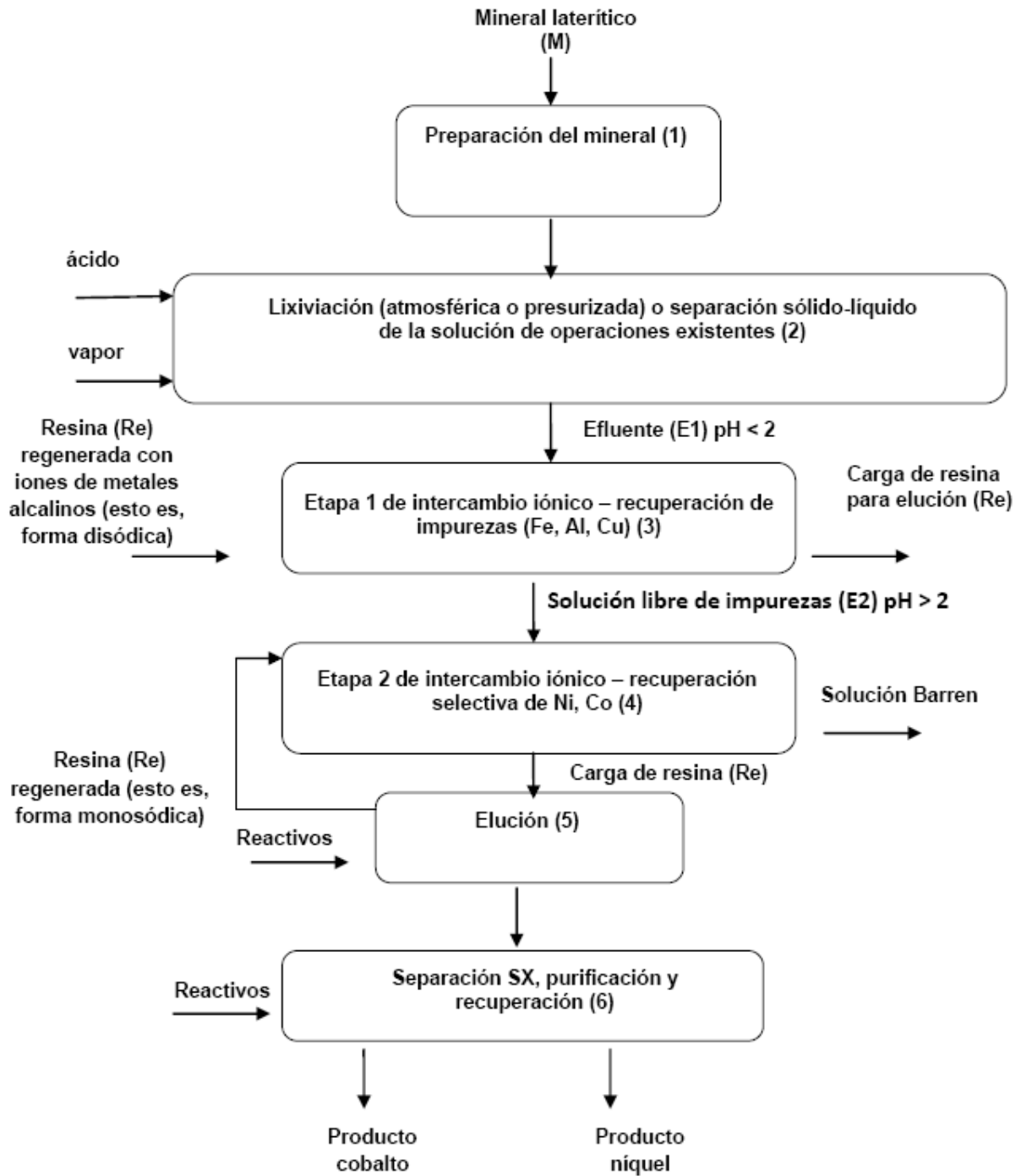


FIGURA 2