

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 370 394**

51 Int. Cl.:
C22B 3/06 (2006.01)
C22B 3/04 (2006.01)
C22B 3/08 (2006.01)
C22B 3/10 (2006.01)
C22B 23/00 (2006.01)
B03B 5/00 (2006.01)
B03B 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04737564 .7**
96 Fecha de presentación: **13.07.2004**
97 Número de publicación de la solicitud: **1644541**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **12.04.2006**

54 Título: **PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE NÍQUEL Y COBALTO MEDIANTE LIXIVIACIÓN EN PILAS DE MATERIAL QUE CONTIENE NÍQUEL O COBALTO DE BAJO GRADO.**

30 Prioridad:
14.07.2003 AU 2003903632

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
15.12.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
15.12.2011

73 Titular/es:
**BHP BILLITON SSM DEVELOPMENT PTY LTD
LEVEL 33, CENTRAL PARK, 152-158 ST
GEORGES TERRACE
WESTERN PERTH WA 6000, AU**

72 Inventor/es:
**MILLER, Geoffrey, William y
LIU, Houyuan**

74 Agente: **Curell Aguilá, Marcelino**

ES 2 370 394 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 para la recuperación de níquel y cobalto mediante lixiviación en pilas de material que contiene níquel o cobalto de bajo grado.

5

Campo de la invención

En general, la presente invención se refiere a un procedimiento para mejorar la recuperación de níquel y cobalto a partir de menas de laterita. En particular, la presente invención proporciona un procedimiento hidrometalúrgico mejorado de extracción de níquel y cobalto a partir de menas de laterita que contienen níquel y cobalto mediante lixiviación a presión o lixiviación por agitación atmosférica de las fracciones de limonita y saprolita concentradas de las menas, y mediante lixiviación en pilas de material de limonita y saprolita de bajo grado que normalmente se desecha durante el enriquecimiento de las menas.

10

Antecedentes de la invención

Los depósitos de mena con níquel y cobalto de laterita contienen generalmente menas de tipo oxidico, limonitas, y menas de tipo silicato, saprolitas, en los mismos depósitos. Las saprolitas de mayor contenido en níquel tienden a tratarse mediante un procedimiento pirometalúrgico que implica técnicas de tostación y fundición eléctrica para producir ferroníquel. Los requerimientos de energía y la alta razón en la mena de hierro con respecto a níquel para la limonita de menor contenido en níquel y las combinaciones de limonita/saprolita hacen que esta ruta de procesamiento sea demasiado cara, y estas menas se tratan normalmente de forma comercial mediante una combinación de procedimientos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos, tales como el procedimiento de lixiviación con ácido a alta presión (HPAL) o el procedimiento Caron de lixiviación de carbonato de amonio-tostación y reducción.

20

Como alternativas a HPAL, que sólo trata limonita o lateritas con bajo contenido en magnesio y usa equipo a alta presión caro, se han dado a conocer procedimientos de lixiviación con ácido por agitación a presión atmosférica, y procedimientos que combinan HPAL para la fracción de limonita de una mena seguido por lixiviación con ácido atmosférica de la fracción de saprolita. Con el fin de reducir el tamaño de los reactores de lixiviación, se prefieren limonita y saprolita de alto grado para estos procedimientos. Esto conduce al desecho de mena de bajo grado como residuo.

25

El aprovechamiento de muchas de las menas de menor contenido en níquel mediante los procedimientos anteriores requiere generalmente el procesamiento de la mena completa ya que no hay ningún procedimiento eficaz para enriquecer la mena. Esto presenta la desventaja de que las fracciones mineralógicas de la mena que pueden contener menores valores de metales diluyen de forma eficaz la calidad de la mena tratada total y aumentan los costes de recuperación.

30

Incluso cuando la mena de laterita es propicia para alguna forma de enriquecimiento, cuando se procesa la mena concentrada mediante uno de los procedimientos analizados anteriormente, la fracción de desecho que contiene bajos grados de níquel y cobalto se desecha normalmente como poco económica de procesar mediante los procedimientos anteriores, perdiendo por tanto el valor del níquel y el cobalto contenidos en los desechos.

35

La lixiviación en pilas es un procedimiento convencional de extracción de forma económica de metales a partir de menas de bajo grado y se ha utilizado de forma satisfactoria para recuperar materiales tales como cobre, oro, uranio y plata. En general, implica amontonar la mena en bruto directamente a partir de depósitos de mena en pilas que varían en altura. Se introduce la disolución de lixiviación sobre la parte superior de la pila para que percole hacia abajo a través de la pila. Se drena el líquido efluente desde la base de la pila y pasa a una planta de procesamiento en la que se recuperan los valores de metales.

40

45

Un problema que dificulta la lixiviación en pilas de menas de laterita que contienen níquel y cobalto es el componente de arcilla sustancial de tales menas. El tipo de contenido en arcilla depende de la roca original y del entorno físico-químico de la formación de arcilla, pero la mayoría de las arcillas presentan un efecto perjudicial sobre la percolación de la disolución de lixiviación a través de la mena.

50

Se ha informado de que cuando se apila en seco la laterita, la percolación de la disolución de lixiviación era de escasa a imposible. Debido a la escasa permeabilidad, es necesaria una baja tasa de irrigación para permitir que la disolución lixivie el níquel y el cobalto, requiriendo por tanto un tiempo de lixiviación que es poco económico.

55

La patente US nº 5.571.308 (BHP Minerals International, Inc) describe un procedimiento para la lixiviación en pilas de una mena de laterita que contiene una alta cantidad de magnesio tal como saprolita. La patente señala que la saprolita de tipo arcilla muestra una escasa permeabilidad, y como solución a esto, la peletización de la mena es necesaria para garantizar la distribución de la disolución de lixiviación a través de la pila.

60

La patente US nº 6.312.500 (BHP Minerals International, Inc) también describe un procedimiento para la lixiviación en pilas de lateritas para recuperar níquel, que es particularmente eficaz para menas que presentan un componente

65

de arcilla significativo (mayor del 10% en peso). El procedimiento incluye dimensionar la mena cuando sea necesario, formar pelets mediante puesta en contacto de la mena con un lixivante, y aglomerar. Los pelets se forman en una pila y se lixivian con ácido sulfúrico para extraer los valores de metales.

5 Ambas patentes anteriores identifican la necesidad de peletizar la alimentación de mena completa para obtener la permeabilidad de la pila necesaria para la lixiviación en pilas satisfactoria.

10 El análisis anterior de documentos, artículos y similares se incluye en la memoria descriptiva únicamente con el fin de proporcionar un contexto para la presente invención. No se sugiere ni se representa que alguna o todas estas cuestiones formen parte de la base de la técnica anterior ni fuesen conocimiento general común en el campo relevante para la presente invención tal como existía en Australia antes de la fecha de prioridad.

15 La presente invención tiene como objetivo superar o al menos paliar una o más de las dificultades asociadas con la técnica anterior.

Sumario de la invención

20 Según la presente invención se proporciona un procedimiento para la recuperación de níquel y cobalto a partir de menas de laterita, tal como se expone en las reivindicaciones adjuntas.

En general, la presente invención proporciona un procedimiento para mejorar la recuperación de níquel y cobalto a partir de menas de laterita, incluyendo el procedimiento las etapas siguientes:

25 a) enriquecer la mena para separarla en una fracción de mena concentrada enriquecida y una fracción de desechos de bajo grado silíceos, gruesos que está sustancialmente libre de finos y materiales de arcilla;

b) procesar por separado la fracción de mena concentrada para la recuperación de níquel y cobalto; y

30 c) someter la fracción de desechos de bajo grado a un procedimiento de lixiviación en pilas con una disolución complementada con ácido para crear un lixiviado en pilas para el procesamiento de recuperación de níquel y cobalto adicional.

35 En general, el procedimiento forma parte de un procedimiento global para la recuperación de níquel y cobalto. Los finos y los materiales de arcilla se separan del material de desechos de bajo grado durante el procedimiento de enriquecimiento y en general permanecen con la fracción concentrada. La fracción de desechos de bajo grado puede tratarse adicionalmente como parte del procedimiento de enriquecimiento para eliminar sustancialmente todos los finos y el material de arcilla.

40 El níquel y el cobalto se recuperan preferiblemente a partir de la fracción de mena concentrada enriquecida mediante lixiviación con ácido a alta presión (HPAL) o lixiviación por agitación a presión atmosférica para producir una disolución de lixiviación de níquel y cobalto para procesamiento adicional. En una forma de realización preferida de la invención, el lixiviado en pilas a partir de la fracción de desechos de bajo grado se combina con la disolución de lixiviación procedente del procedimiento de lixiviación con ácido de la fracción de mena concentrada. Esto conduce a un aumento en el rendimiento de níquel y cobalto recuperados a partir del procesamiento de la mena de laterita completa.

45 El níquel y el cobalto pueden recuperarse a partir del lixiviado combinado mediante procedimientos convencionales tales como procedimientos de precipitación como un sulfuro o hidróxido mixto, tratamiento mediante extracción con disolventes, intercambio iónico u otras rutas de procesamiento metalúrgico conocidas para extraer y separar el níquel y el cobalto.

50 Los inventores han descubierto sorprendentemente que cuando los desechos silíceos de bajo grado están sustancialmente libres de finos y materiales de arcilla, presentan una alta permeabilidad que los hace adecuados para la lixiviación en pilas sin el requerimiento para la etapa de peletización necesaria en el tratamiento de menas de tipo arcilla tal como se notifica en las patentes US nº 5.571.308 y nº 6.312.500. La alta permeabilidad permite una velocidad de lixiviación relativamente rápida con una extracción de aproximadamente el 50% de níquel en 14 días en pruebas estáticas y más del 80% en pruebas de lixiviación en columna a lo largo de 160-192 días. La extracción tanto de níquel como de cobalto a partir de los desechos de bajo grado es relativamente alta con un bajo consumo de ácido.

55 En un aspecto particularmente beneficioso de la presente invención, el lixiviado procedente de la lixiviación en pilas de los desechos de bajo grado puede procesarse de forma conjunta con la disolución de lixiviación procedente de la lixiviación con ácido de la fracción de mena de grado superior. Pueden procesarse por separado si se requiere, sin embargo el procesamiento combinado conduce a eficacias en la recuperación de metales y la reducción en los requerimientos de equipo. Pueden utilizarse las tecnologías existentes para el tratamiento de la disolución de lixiviación cargada, para la recuperación de níquel y cobalto, ya sea para la recuperación a partir del lixiviado

combinado, o ya sea el lixiviado a partir de las fracciones de mena de bajo grado y concentrada se procesan por separado. Por ejemplo, esto puede lograrse a través de la precipitación selectiva (es decir, la precipitación de un sulfuro o la precipitación de un hidróxido mixto), la extracción con disolventes, el intercambio iónico o mediante otras rutas de procesamiento metalúrgico conocidas.

5 En otra forma de realización, la fracción de desechos de enriquecimiento puede producirse a partir del enriquecimiento por separado de las fracciones de limonita y saprolita de la mena de laterita, y los desechos de bajo grado a partir de ambas fracciones de limonita y saprolita formadas cada una en pilas de desechos de bajo grado separados. La formación de pilas separadas presenta la ventaja de que la lixiviación de la limonita proporciona una
10 máxima recuperación de níquel y la lixiviación de saprolita proporciona la neutralización del ácido y la eliminación del hierro. En la pila de desechos de saprolita de bajo grado, el ácido liberado durante la precipitación del contenido en hierro se añade a la disolución complementada con ácido para potenciar la lixiviación de níquel y cobalto.

15 Por consiguiente, una forma de realización adicional proporciona un procedimiento para la recuperación de níquel y cobalto a partir de menas de laterita, incluyendo el procedimiento las etapas siguientes:

a) separar la mena en una fracción de limonita y una fracción de saprolita;

20 b) enriquecer las fracciones de limonita y saprolita de forma independiente para producir fracciones de mena concentradas y fracciones de desechos de bajo grado silíceos, gruesos que están sustancialmente libres de finos y material de arcilla;

c) procesar de forma independiente o conjunta las fracciones de mena concentradas;

25 d) formar pilas separadas de las fracciones de desechos de saprolita de bajo grado y limonita de bajo grado; y

e) someter las pilas de desechos de saprolita de bajo grado y limonita de bajo grado separadas a un procedimiento de lixiviación en pilas con una disolución complementada con ácido para crear lixiviados en pilas de saprolita y limonita separados para el procesamiento de recuperación de níquel y cobalto adicional.

30 El níquel y el cobalto se recuperan preferiblemente a partir de la fracción de mena concentrada mediante el procesamiento de las mismas de forma conjunta o independiente mediante lixiviación con ácido a alta presión, lixiviación por agitación a presión atmosférica, o una combinación de ambas, para producir una disolución de lixiviación para procesamiento adicional.

35 El lixiviado en pilas a partir de las pilas de bajo grado separadas todavía pueden combinarse con la disolución de lixiviación procedente de la lixiviación con ácido de la fracción de mena concentrada para proporcionar eficacias adicionales en la recuperación de metal, o pueden procesarse adicionalmente de forma individual o combinada.

40 Todavía en una forma realización adicional, el lixiviado en pilas a partir de la pila de desechos de limonita puede hacerse pasar a través de la totalidad o una parte de la pila de desechos de saprolita de bajo grado para ayudar en la neutralización del contenido en ácido y precipitar parte del hierro disuelto en el lixiviado en pilas resultante. Este procedimiento puede conducir a la recuperación de más cantidad de níquel y cobalto a partir de las pilas de desechos.

45 El lixiviado en pilas resultante, que se ha neutralizado parcialmente, puede combinarse con la disolución de lixiviación procedente de la lixiviación con ácido de la fracción concentrada para producir un lixiviado combinado. El lixiviado combinado puede procesarse entonces adicionalmente para la recuperación de cobalto y níquel. Como alternativa, el lixiviado resultante a partir de las fracciones de mena de bajo grado puede procesarse adicionalmente para la recuperación de níquel y cobalto de forma independiente de la disolución de lixiviación a partir de la fracción
50 de mena concentrada.

Pueden utilizarse las tecnologías existentes tales como la precipitación de un sulfuro o un hidróxido mixto, la extracción con disolventes, el intercambio iónico u otras rutas de procesamiento metalúrgico conocidas para el
55 procesamiento de recuperación de níquel y cobalto a partir del lixiviado en pilas de desechos de bajo grado individual o combinado.

La lixiviación en pilas de desechos de bajo grado, tal como se utiliza en el procedimiento de la invención, puede comprender la lixiviación de pilas formadas del material de desecho, o lixiviación en pilas *in situ*, en la que se tratan
60 los desechos cuando se depositan tras el procedimiento de enriquecimiento, sin la necesidad de un movimiento adicional, por ejemplo, en una presa de almacenamiento u otra contención.

La disolución complementada con ácido puede comprender una disolución de agua acidificada, agua de mar o salmuera subterránea, o puede ser la disolución residual acidificada procedente de la lixiviación con ácido de la
65 fracción de mena concentrada.

Los bajos grados metálicos de níquel y cobalto, en la fracción de desechos de bajo grado presentan aproximadamente del 0,3% al 0,7% de níquel y del 0,01% al 0,03% de cobalto. Esta fracción de desechos de bajo grado sería normalmente poco económica de procesar mediante cualquiera de las rutas convencionales. Sin embargo, la eliminación de sustancialmente todo el material de arcilla y los finos de la fracción de desechos de bajo grado transforma lo que anteriormente ha sido un residuo en un material económicamente procesable mediante la aplicación del procedimiento de lixiviación en pilas a este material.

Es particularmente atractivo cuando la fracción de mena concentrada producida mediante la etapa de enriquecimiento se procesa en paralelo mediante los procedimientos HPAL o de lixiviación a presión atmosférica, o cualquier combinación de estos procedimientos. En este caso, puede procesarse la disolución ácida de níquel y cobalto procedente tanto de la lixiviación de la mena de laterita concentrada como de la lixiviación en pilas de la fracción de desechos de bajo grado de forma conjunta mediante la misma ruta para producir los productos de níquel y cobalto requeridos, ahorrando equipo e inversión.

15 Descripción del dibujo

La descripción del dibujo pretende ser ilustrativa de la invención, y no pretende que la invención se limite a las características específicas descritas. La figura 1 ilustra el diagrama de flujo del procedimiento de la invención. Ésto muestra el tratamiento preliminar de la mena de laterita sometiendo en primer lugar a una reducción del tamaño de gruesos en una trituradora y luego eliminando los finos y/o la arcilla, lo que se realiza normalmente mediante lavado, por ejemplo lavado hidráulico como parte del procedimiento de enriquecimiento. El material grueso (la fracción de desechos de bajo grado), tras la eliminación de los finos y/o materiales de arcilla, se somete entonces a lixiviación en pilas con ácido para proporcionar una disolución de lixiviado cargada. La fracción de laterita concentrada junto con el material de finos, se envía para el tratamiento de recuperación de níquel mediante lixiviación a presión con ácido o lixiviación atmosférica. La disolución de lixiviado cargada procedente de este procedimiento se combina con la disolución de lixiviado procedente del procedimiento de lixiviación en pilas para la recuperación de níquel y cobalto mediante rutas metalúrgicas conocidas convencionales.

30 Ejemplos

Ejemplo 1

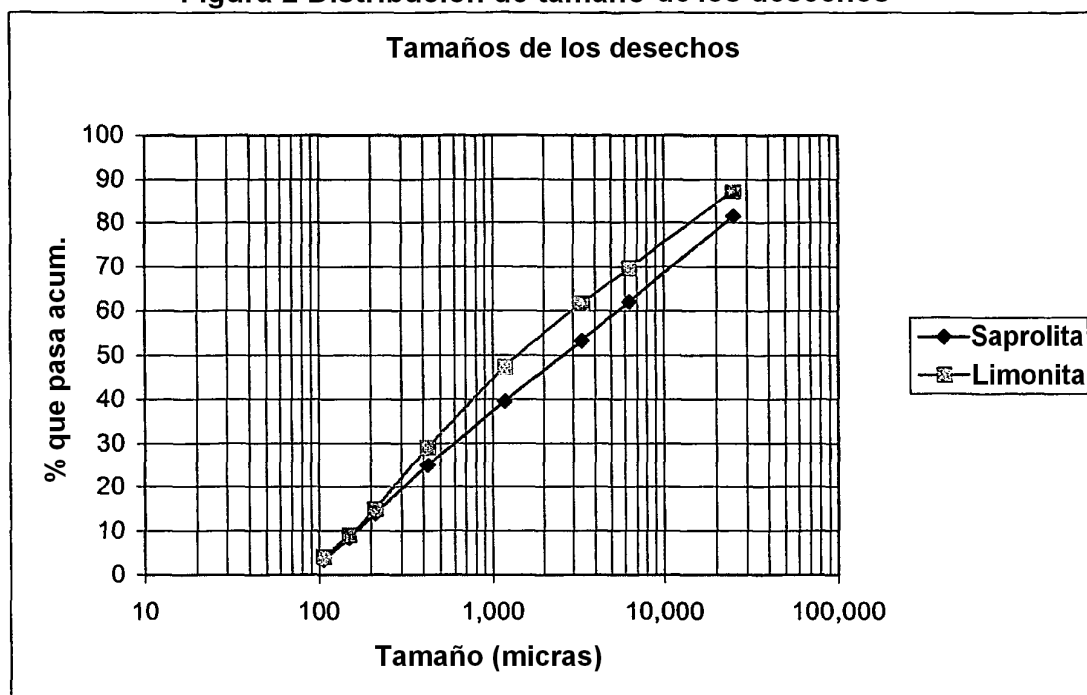
Se llevaron a cabo pruebas en una mena seca de laterita, caracterizada porque contiene una gran cantidad de cuarzo estéril y la ausencia relativa de arcillas. El níquel en la laterita está asociado predominantemente con la goetita intrínsecamente fina, que se separa fácilmente del material de cuarzo más duro y más grueso. La zona de goetita/limonita y las zonas de saprolita se caracterizan por la aparición de abundantes venas netas silíceas y enrejados (*box works*), lo que confiere propiedades propicias para el enriquecimiento.

El procedimiento de enriquecimiento implica la separación física (depuración, cribado y clasificación) de la fracción de finos de alto grado de la mena (producto) de la fracción de bajo grado gruesa (desecho). El níquel está asociado predominantemente con minerales de hidróxido de hierro de grano muy fino en la zona de la limonita y silicatos de níquel y magnesio expuestos a la intemperie de grano muy fino así como los minerales de hidróxido de hierro de grano muy fino en la zona de la saprolita. Estos minerales que contienen níquel son más blandos que y están encapsulados por, los minerales de ganga indurados que forman una red de venas celulares duras. El nivel de desarrollo de esta red es mayor en la limonita, en la que la exposición a la intemperie ha alcanzado un mayor nivel de completitud y en consecuencia se potencia el rendimiento de enriquecimiento.

Normalmente, para la fracción de limonita, el 57,5% del níquel y el 45,8% del cobalto se recuperan mediante el procedimiento de enriquecimiento con depurador de tambor a partir de la mena de laterita para dar la laterita de alto grado (concentrada). Para la fracción de saprolita las cifras son del 57,3% y el 48,9% respectivamente.

Los desechos de bajo grado de enriquecimiento son predominantemente silíceos procedentes de las menas de limonita y una mezcla de sílice y serpentinita procedentes de las menas de saprolita. El procedimiento de enriquecimiento retira todo el material de menos 75 μm dejando un desecho arenoso con un D_{50} de 1,5 mm - 3 mm tal como se muestra en la figura 2. Aproximadamente el 10% del material es mayor de 125 μm pero el 100% es menor de 250 μm . Este material es ideal para la lixiviación en pilas debido a la ausencia de finos y material de arcilla y con una distribución de tamaño relativamente estrecha (el 50% del material se encuentra entre 0,2 y 6,3 mm). Esta distribución de tamaño permite tanto buenas características de flujo como que no haya los problemas de canalización asociados con las grandes secciones impermeables (o bien de arcilla o bien de roca).

Figura 2 Distribución de tamaño de los desechos



Pruebas

5 Se produjeron fracciones de dos tamaños de la fracción de desechos (mena de bajo grado) durante el procedimiento de enriquecimiento y se sometieron a prueba tal como sigue:

10 Las pruebas adoptaron la forma de pruebas en cilindros saturadas con o bien 100 kg/t o bien 200 kg/t de ácido sulfúrico en material de desecho de 75 µm a 1 mm y material de desecho de 1 mm a 6 mm procedente del funcionamiento de la planta piloto. El análisis completo de las dos muestras de material de desecho se facilita en la tabla 1.

15 Se llenaron tubos graduados de 1000 ml aproximadamente hasta la marca de 800 ml con un peso conocido de muestra y se añadió una disolución de ácido sulfúrico que es igual a cualquiera de las dos concentraciones anteriores. Cada cilindro se hizo girar dos veces al día (al comienzo y al final de un turno diurno) para garantizar reacciones controladas por mezclado y no por difusión, que simulan por tanto el flujo a través de una pila.

Tabla 1 Análisis de los desechos

| | Alimentación % | SG g/cm ³ | Ni % | Co % | Al % | Ca % | Fe % | Mg % | Mn % | SiO ₂ % | CO ₃ % |
|-----------------------------------|----------------|----------------------|------|-------|------|------|------|------|------|--------------------|-------------------|
| Material de desecho de 1-6 mm | 17,9 | 2,66 | 0,49 | 0,021 | 0,3 | 0,5 | 8,5 | 1,1 | 0,09 | 79,0 | 1,9 |
| Material de desecho de 75 µm-1 mm | 17,1 | 2,86 | 0,52 | 0,030 | 0,3 | 0,8 | 8,2 | 1,1 | 0,12 | 79,1 | 3,1 |

20 Se monitorizó el cambio en la concentración de ácido y la extracción de níquel y cobalto, a lo largo de un periodo de 14 días con un un equilibrio completo de sólidos/líquidos de los elementos determinados al final del periodo.

25 Normalmente, el consumo de ácido fue de aproximadamente 100 kg/t de sólidos y, tal como puede observarse a partir de las figuras 3 y 4, la extracción de níquel fue mayor del 50% mientras que la extracción de cobalto fue del 55% para el tamaño más fino (material de desecho de 75 µm-1 mm) y del 35% para el tamaño más grueso (material de desecho de 1-6 mm).

En ambos casos, la extracción tanto de níquel como de cobalto todavía estaba aumentando después de 14 días. La ley de níquel y cobalto de las disoluciones cargadas es alta, reflejando los buenos niveles de extracción logrados. Éstos, junto con los niveles de las impurezas principales, se muestran en la tabla 2.

5

Tabla 2 Distribución elemental de los productos de lixiviación en las disoluciones cargadas

| Muestra | Producto de prueba | Ni (ppm) | Co (ppm) | Fe (%) | Mg (ppm) | Al (ppm) | Ca (ppm) | Mn (ppm) |
|--|--------------------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|
| Material de desecho de 75 μ m-1 mm | Disolución | 4965 | 330 | 7,85 | 13625 | 1260 | 280 | 1125 |
| | Residuo | 2455 | 135 | 4,84 | 4790 | 2370 | 1280 | 392 |
| Material de desecho de 1-6 mm | Disolución | 4630 | 140 | 6,65 | 9850 | 1200 | 273 | 648 |
| | Residuo | 2630 | 130 | 5,65 | 5415 | 2095 | 2775 | 438 |

10

Las concentraciones de disolución que se aproximan a 5 g/l de Ni son comparables a las obtenidas a partir del procedimiento HPAL o el procedimiento de lixiviación atmosférica y esta disolución podría aplicarse directamente para alimentar un circuito de purificación de la disolución y precipitación de hidróxido.

15

Con los restantes valores de metales del 0,25% de Ni y el 0,013% de Co en los desechos de lixiviación en pilas, esto representa el 75% y el 70% de la recuperación de níquel y cobalto respectivamente después de tener en cuenta la recuperación por enriquecimiento original de aproximadamente el 57,5 y el 45,8% respectivamente, y es una mejora importante en el metal recuperado global a partir de la mena.

Figura 3 Prueba de lixiviación en cilindro de la fracción de desechos de 75 μ m -1 mm

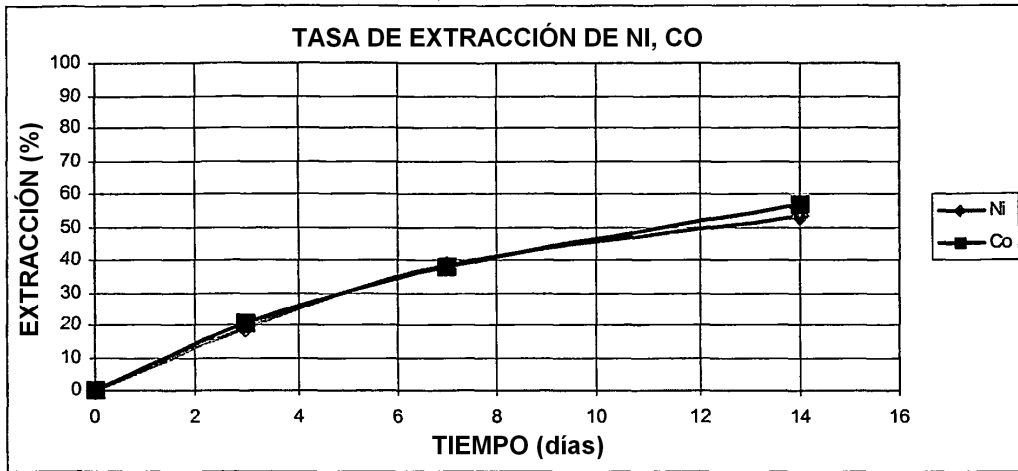
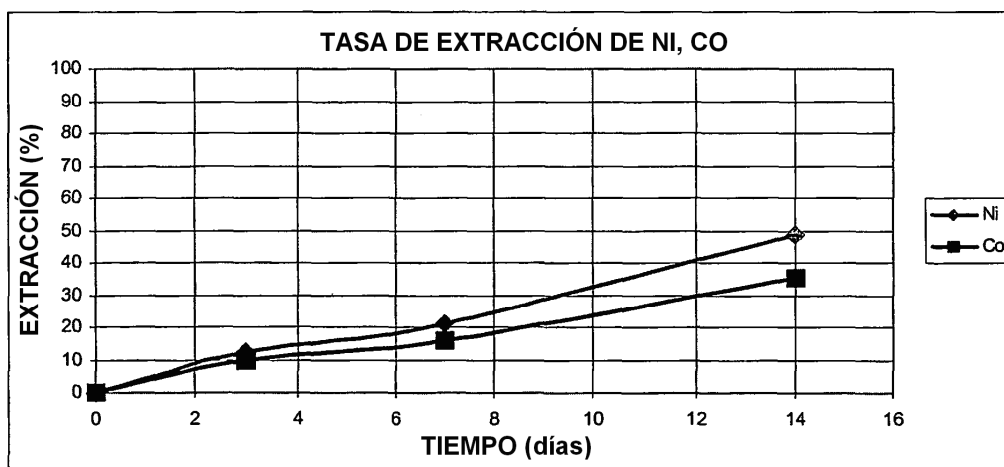


Figura 4 Prueba de lixiviación en cilindro de la fracción de desechos de 1 mm-6 mm



Ejemplo 2

Se recombinaron las fracciones de tamaño de las muestras de desecho de bajo grado de enriquecimiento de mena de laterita utilizadas en el ejemplo 1, en sus respectivas proporciones en la mena original para las siguientes pruebas para producir una muestra de prueba tanto para los desechos de bajo grado de limonita como de saprolita. El análisis de las muestras compuestas se muestra en la tabla 3.

Tabla 3: La composición de la mena cargada en la columna

| D.I. de columna | Peso en húmedo kg | H ₂ O % | Al % | Ca % | Co % | Fe % | Mg % | Mn % | Ni % | Si % | CO ₃ % |
|-----------------|-------------------|--------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------------------|
| Saprolita | 31,1 | 19,2 | 0,17 | 1,26 | 0,12 | 4,10 | 11,16 | 0,07 | 0,50 | 25,67 | 10,80 |
| Limonita | 31,5 | 18,2 | 0,37 | 0,40 | 0,03 | 10,30 | 4,18 | 0,16 | 0,68 | 32,15 | 3,60 |

Se cargaron muestras de cada mena de limonita y saprolita de desecho hasta una altura de 4 m en columnas Perspex transparentes de 75 mm de diámetro, y se trataron con disolución de ácido sulfúrico para reproducir la lixiviación en pilas. La disolución de alimentación para las columnas era ácido sulfúrico 50 g/l en salmuera que contenía sal disuelta total 56 g/l (sal marina 27g/l y sal añadida 29g/l).

Las velocidades de flujo de adición de ácido se aumentaron progresivamente hasta un nivel objetivo máximo de 120 l/m² h. Se redujeron las velocidades de flujo según fue necesario para adaptarse a las características de percolación de cada tipo de mena.

Los residuos procedentes de estas columnas se enjuagaron con ácido, se secaron y se sometieron a ensayo y se realizaron equilibrios metalúrgicos. Los resultados de extracción de níquel y cobalto se resumen en las tablas 4 y 5.

Tabla 4: Extracciones de metales dentro de la columna de saprolita después de 162 días

| Columna | Nivel | Extracción de metales % | | | | | |
|-----------|--------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Al | Co | Fe | Mg | Mn | Ni |
| Saprolita | Desde arriba hacia abajo | | | | | | |
| | 0-1m | 33,42 | 100 | 58,59 | 92,99 | 82,38 | 86,96 |
| | 1-2m | 36,05 | 100 | 60,23 | 91,02 | 83,08 | 86,22 |
| | 2-3m | 38,26 | 100 | 57,18 | 89,16 | 83,66 | 85,49 |
| | 3-4m | 40,15 | 99,17 | 61,57 | 88,72 | 100 | 87,41 |
| | % de ext. promedio | 36,97 | 99,79 | 59,39 | 90,47 | 87,28 | 86,52 |
| | Consumo de ácido kg/t | 460 | | | | | |

Tabla 5: Extracciones de metales dentro de las columnas de limonita después de 292 días

| Columna | Nivel Desde arriba hacia abajo | Extracción de metales % | | | | | |
|----------|-----------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Al | Co | Fe | Mg | Mn | Ni |
| Limonita | 0-1 m | 58,31 | 100 | 69,73 | 93,66 | 80,31 | 85,20 |
| | 1-2 m | 55,61 | 100 | 69,17 | 93,96 | 77,21 | 84,19 |
| | 2-3 m | 50,41 | 100 | 65,56 | 92,86 | 69,45 | 82,34 |
| | 3-4 m | 53,19 | 98,23 | 66,02 | 93,86 | 73,48 | 82,62 |
| | % de ext. promedio | 54,38 | 99,56 | 67,62 | 92,61 | 75,11 | 83,59 |
| | Consumo de ácido kg/t | 243 | | | | | |

5 Se midió la conductividad de irrigación y los resultados se resumen en la tabla 6.

Tabla 6: Conductividad de irrigación de desechos de enriquecimiento

| Tipo de mena | Saprolita | Limonita |
|--|----------------------|----------------------|
| % en peso de CO ₃ | 10,80 | 3,60 |
| Conductividad de irrigación* cm/s | 1,4x10 ⁻⁴ | 4,2x10 ⁻⁴ |
| Permeabilidad de irrigación (Flujo)* U (m ² .h) | 50,4 | 15,1 |
| *: 1 cm/s = 3,6x10 ⁻⁴ l/m ² .h | | |

10 En el caso tanto de la limonita como de la saprolita, la extracción de níquel continuó aumentando a una velocidad lineal cercana. Este ejemplo demuestra que puede recuperarse el níquel de manera eficaz a partir de o bien la mena de limonita de desechos de bajo grado como de la mena de saprolita de desechos de bajo grado mediante lixiviación en pilas, mediante la eliminación eficaz de los finos y el material de arcilla durante el enriquecimiento de la mena.

15 Resulta significativo que la alta recuperación de níquel y cobalto a partir de este material inutilizable de otro modo indicado en las tablas 4 y 5 presenta el efecto de aumentar la posible recuperación de níquel y cobalto a partir del yacimiento completo de desde aproximadamente el 57% y el 46% respectivamente hasta más del 90% para ambos metales.

20 **Ejemplo 3**

Con el fin de demostrar el potencial para la utilización de una lixiviación en pilas de saprolita de bajo grado que va a utilizarse para tratar el lixiviado procedente de una lixiviación en pilas de limonita de bajo grado para eliminar parte del hierro disuelto y neutralizar los valores de ácido en exceso, se preparó una disolución de lixiviación de producto sintético para reproducir la que se produjo a partir de la lixiviación en columna de la prueba con limonita de bajo grado en el ejemplo 2. El análisis de la disolución se indica en la tabla 7. Se utilizó esta disolución para tratar desechos de mena de saprolita de bajo grado en una prueba de lixiviación en columna tal como se describió en el ejemplo 2. Los resultados de la lixiviación después de 168 días se indican en las tablas 8 y 9 a continuación.

30 Tabla 7: Composición de la disolución de producto de lixiviación de limonita sintético

| H ₂ SO ₄ g/l | Al g/l | Co g/l | Fe g/l | Mg g/l | Mn g/l | Ni g/l | Sal marina g/l | Sal g/l | Sal disuelta total g/l |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|------------|------------------------|
| 20 | 3,30 | 0,22 | 37 | 20 | 0,25 | 2,2 | 27 | 29 | 56 |

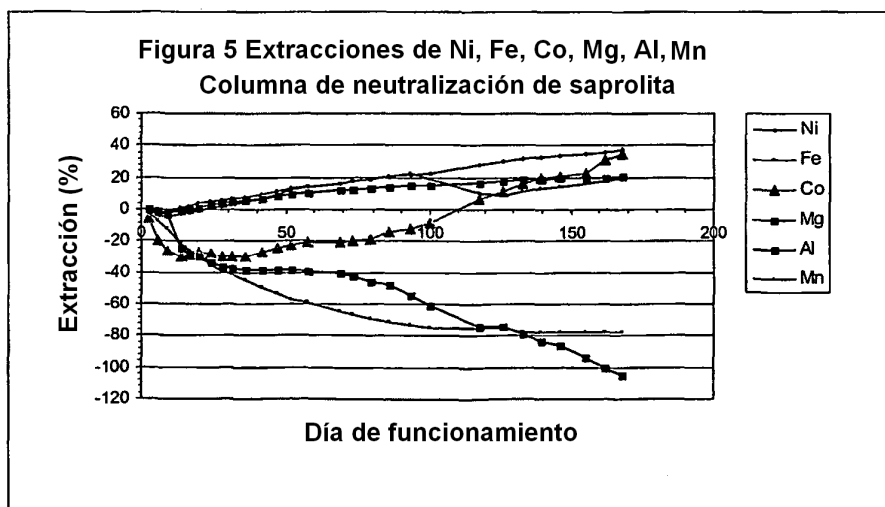
Tabla 8: Comparación de disolución de alimentación y de producto de lixiviación a partir de la columna de neutralización de saprolita después de 168 días

| | H ₂ SO ₄ g/l | Al g/l | Co g/l | Fe g/l | Mg g/l | Mn g/l | Ni g/l |
|--|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Alimentación de disolución de lixiviación de columna de limonita sintética | 20 | 3,30 | 0,22 | 37 | 20 | 0,25 | 2,2 |
| Disolución de producto en columna de saprolita (promedio) | 0 | 2,65 | 0,22 | 25,98 | 24,71 | 0,31 | 2,50 |

5

Tabla 9: Extracciones de metales dentro de la columna de saprolita a los 168 días

| Columna | Nivel Desde arriba hacia abajo | Extracción de metales% | | | | | |
|-----------|--------------------------------|------------------------|---------|---------|-------|-------|-------|
| | | Al | Co | Fe | Mg | Mn | Ni |
| Saprolita | 0-1 m | -90,09 | -129,99 | -87,34 | 93,52 | 6,42 | 36,07 |
| | 1-2 m | -14,63 | -142,32 | -88,64 | 92,84 | 7,57 | 42,47 |
| | 2-3 m | -70,67 | -145,22 | -154,54 | 85,88 | -8,09 | 20,48 |
| | 3-4 m | -81,17 | -144,98 | -170,19 | 82,19 | -7,99 | 12,99 |
| | % de ext. promedio | -64,14 | -140,63 | -125,18 | 88,61 | -0,52 | 28,00 |



10 Los valores negativos en la tabla 9 y la figura 5 anteriores indican que el material quedó retenido por la mena en la columna. Este ejemplo demuestra que el tratamiento de la disolución de lixiviación procedente de una lixiviación en columna de mena de limonita de desecho de bajo grado, haciéndola pasar a través de una columna de mena de saprolita de bajo grado, es satisfactorio en la neutralización del contenido en ácido y la reducción del contenido en hierro de la disolución, reduciendo por tanto los requerimientos de procesamiento de disolución aguas abajo, a la vez que se aumenta la recuperación de níquel.

15 La descripción anterior pretende ser ilustrativa de la forma de realización preferida de la presente invención. Los expertos en la materia deben entender que pueden realizarse muchas variaciones o alteraciones sin apartarse del espíritu de la invención.

20 Finalmente ha de entenderse que pueden realizarse otras diversas modificaciones y/o alteraciones sin apartarse del espíritu de la presente invención tal como se ha expuesto en la presente memoria.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la recuperación de níquel y cobalto a partir de menas de laterita, incluyendo el procedimiento las etapas siguientes:
- 5 a) enriquecer la mena mediante depuración, cribado y clasificación para separarla en una fracción de mena concentrada enriquecida y una fracción de desechos de bajo grado síliceos, gruesos que está sustancialmente libre de finos y materiales de arcilla;
- 10 b) procesar por separado la fracción de mena concentrada para la recuperación de níquel y cobalto; y
- c) someter la fracción de desechos de bajo grado a un procedimiento de lixiviación en pilas con una disolución complementada con ácido para crear un lixiviado en pilas para el procesamiento de recuperación de níquel y cobalto adicional,
- 15 en el que la fracción de desechos de enriquecimiento presenta entre el 0,3% y el 0,7% de níquel y entre el 0,01% y el 0,03% de cobalto.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la fracción de desechos de bajo grado se trata adicionalmente como parte del procedimiento de enriquecimiento para eliminar sustancialmente todos los finos y los materiales de arcilla.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el níquel y el cobalto se recuperan a partir de la fracción de mena concentrada mediante lixiviación con ácido a alta presión o lixiviación por agitación a presión atmosférica, o una combinación de ambas, para producir una disolución de lixiviación para procesamiento adicional.
- 25 4. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el lixiviado en pilas procedente de la fracción de desechos de bajo grado se combina con la disolución de lixiviación procedente de la lixiviación con ácido de la fracción concentrada para producir un lixiviado combinado.
- 30 5. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el lixiviado en pilas de desechos de bajo grado se procesa adicionalmente para la recuperación de níquel y cobalto, independientemente de la disolución de lixiviación procedente de la fracción de mena concentrada.
- 35 6. Procedimiento según la reivindicación 4 y 5, en el que el níquel y el cobalto se recuperan a partir del lixiviado combinado o bien del lixiviado en pilas de desechos de bajo grado mediante precipitación de un sulfuro o hidróxido mixto, el tratamiento mediante extracción con disolventes, mediante intercambio iónico o mediante otras rutas de procesamiento metalúrgico conocidas.
- 40 7. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además las etapas siguientes:
- i) separar la mena en una fracción de limonita y una fracción de saprolita; y
- 45 ii) formar pilas separadas de las fracciones de desechos de saprolita de bajo grado y limonita de bajo grado;
- en el que la etapa i) precede a la etapa a) de la reivindicación 1 y la etapa ii) se produce entre las etapas b) y c) de la reivindicación 1, y
- 50 en el que la etapa de enriquecimiento comprende enriquecer las fracciones de limonita y saprolita de forma independiente mediante depuración, cribado y clasificación de cada fracción de mena para producir fracciones de mena de limonita y saprolita concentradas y fracciones de desechos de síliceos y gruesos de limonita y saprolita de bajo grado, estando las fracciones de desechos de síliceos y gruesos limonita y saprolita de bajo grado sustancialmente libres de finos y material de arcilla,
- 55 la etapa de procesar comprende procesar de forma independiente o conjunta las fracciones de mena concentradas de limonita y saprolita, y
- la etapa de someter comprende someter las pilas de desechos de saprolita de bajo grado y limonita de bajo grado separadas a un procedimiento de lixiviación en pilas con una disolución complementada con ácido para crear lixiviados en pilas de limonita y saprolita separados para el procesamiento de recuperación de níquel y cobalto adicional.
- 60 8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que el níquel y el cobalto se recuperan a partir de las fracciones de mena concentradas mediante el procesamiento de las mismas de forma conjunta o independiente mediante lixiviación con ácido a alta presión, lixiviación por agitación a presión atmosférica o una combinación de ambas, para producir una disolución de lixiviación para procesamiento adicional.
- 65

- 5 9. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que los lixiviados en pilas de limonita y saprolita se combinan con la disolución de lixiviación procedente de la lixiviación con ácido de las fracciones de mena concentradas para crear un lixiviado combinado para el procesamiento de recuperación de níquel y cobalto adicional.
10. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que los lixiviados en pilas de limonita y saprolita se procesan adicionalmente bien de forma independiente o bien de forma conjunta para la recuperación de níquel y cobalto, por separado de la disolución de lixiviación procedente de la fracción de mena concentrada.
- 10 11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que se recupera el níquel a partir del lixiviado combinado o de lixiviados en pilas de limonita y saprolita mediante precipitación como un sulfuro o hidróxido mixto, el tratamiento mediante extracción con disolventes, mediante intercambio iónico o mediante otras rutas de procesamiento metalúrgico conocidas.
- 15 12. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que el lixiviado en pilas de limonita procedente de la pila de desechos de limonita de bajo grado se hace pasar a través de la totalidad, o de una parte de la pila de desechos de saprolita de bajo grado para ayudar a neutralizar el contenido ácido y precipitar parte del hierro disuelto en el lixiviado en pilas resultante.
- 20 13. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que el lixiviado en pilas resultante procedente de la fracción de desechos de bajo grado se combina con la disolución de lixiviación procedente de la lixiviación con ácido de la fracción concentrada para producir un lixiviado combinado.
- 25 14. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que el lixiviado resultante se procesa adicionalmente para la recuperación de níquel y cobalto, de forma independiente de la disolución de lixiviación de la fracción de mena concentrada.
- 30 15. Procedimiento según la reivindicación 13 ó 14, en el que se recuperan el níquel y el cobalto a partir del lixiviado combinado o el lixiviado en pilas resultante mediante precipitación de un sulfuro o hidróxido mixto, el tratamiento mediante extracción con disolventes, mediante intercambio iónico o mediante otras rutas de procesamiento metalúrgico conocidas.
- 35 16. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la disolución complementada con ácido es una disolución de agua acidificada, agua de mar, salmuera subterránea o disolución residual acidificada para la lixiviación con ácido de la fracción de mena concentrada.

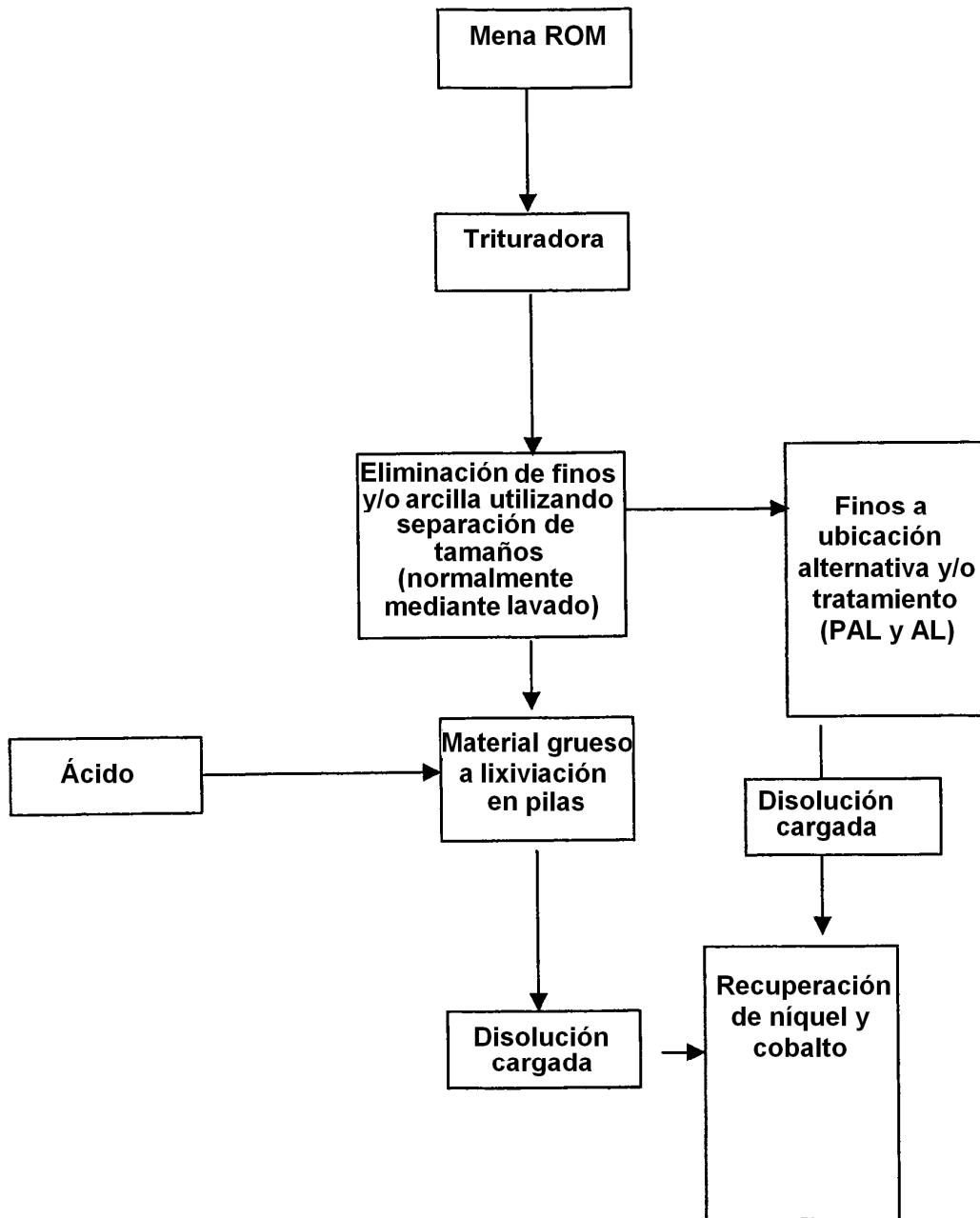


Figura 1