

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **3 018 464**

(51) Int. Cl.:

B01D 3/06 (2006.01)
B01D 53/48 (2006.01)
B01D 53/62 (2006.01)
B01J 19/24 (2006.01)
C22B 1/00 (2006.01)
C22B 1/14 (2006.01)
C22B 3/06 (2006.01)
C22B 3/18 (2006.01)
C22B 15/00 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.07.2021 PCT/US2021/043869**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **03.02.2022 WO202026810**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.07.2021 E 21849519 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2025 EP 4045164**

(54) Título: **Método de procesamiento**

(30) Prioridad:

31.07.2020 US 202016944379

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

16.05.2025

(73) Titular/es:

**RIO TINTO TECHNOLOGICAL RESOURCES INC.
(100.00%)
4700 Daybreak Parkway
South Jordan, Utah 84009, US**

(72) Inventor/es:

**BURLEY, ADAM JAMES;
ALCAYAGA ZÚÑIGA, JAVIERA DEL PILAR y
MLADINIC MUÑOZ, YURE ANTON**

(74) Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

Observaciones:

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 3 018 464 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

Método de procesamiento

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un método de procesamiento, por ejemplo, por beneficio, de una suspensión acuosa que contiene pirita.

10 La presente invención se refiere particularmente, aunque no de manera excluyente, a un método de procesamiento, por ejemplo, por beneficio, de una suspensión acuosa que contiene pirita, retirando la pirita de la suspensión acuosa y usando la pirita retirada en las etapas posteriores del método.

15 La presente invención se refiere particularmente, aunque no de manera excluyente, a un método de procesamiento, por ejemplo, por beneficio, de una suspensión acuosa que contiene pirita en forma de relaves de una planta de procesamiento para recuperar metal a partir de un material que contiene sulfuros metálicos, tal como un mineral de sulfuro metálico, retirando la pirita de los relaves y utilizando la pirita retirada en las etapas posteriores del método.

20 Una aplicación particular de la invención es retirar la pirita de una suspensión acuosa que contiene pirita de una balsa de relaves o una planta de procesamiento para recuperar cobre de un material que contiene sulfuro de cobre, tal como un mineral de sulfuro de cobre.

25 Una aplicación particular de la invención es usar la pirita retirada en las etapas posteriores del método para recuperar un metal valioso, tal como el cobre, a partir de un material que contiene sulfuros metálicos, tal como un mineral de sulfuro metálico, tal como un mineral de sulfuro de cobre.

30 La presente invención también se refiere a un método de lixiviación en pila caracterizado por lixiviar una pila de aglomerados que contienen un material que contiene sulfuros metálicos, tal como un mineral de sulfuro que contiene metal, tal como un mineral de sulfuro de cobre, produciéndose los aglomerados al menos en parte a partir de un material que contiene pirita para recuperar un metal valioso del material que contiene sulfuros.

35 La presente invención también se refiere a una pila caracterizada por que la pila contiene aglomerados que contienen un material que contiene sulfuros metálicos, tal como un mineral de sulfuro metálico, tal como un mineral de sulfuro de cobre, que se producen al menos en parte a partir de un material que contiene pirita.

40 La presente invención también se refiere a un circuito de flotación para una planta de procesamiento de minerales para un material que contiene sulfuros metálicos.

45 La presente invención también se refiere a una planta de procesamiento de minerales para un material que contiene sulfuros metálicos.

Antecedentes de la técnica

45 El campo técnico de la invención descrito anteriormente es relevante para la producción de un metal, tal como cobre o níquel o zinc o cobalto, a partir de un material que contiene sulfuros metálicos, tal como un mineral de sulfuro metálico, en un material extraído.

50 Se entiende que en la presente memoria el término "material extraído" incluye el material que se extrae y se transfiere desde la mina (a) directamente a una instalación de procesamiento posterior para recuperar un metal del material o (b) a una reserva.

55 La siguiente descripción de la invención se centra en el cobre como un ejemplo de metal, estando el cobre en un material que contiene sulfuro de cobre, tal como un mineral de sulfuro de cobre.

55 El cobre es un metal cada vez más importante para la transición a una economía mundial basada en bajas emisiones de carbono.

60 Las plantas de procesamiento húmedo actuales para recuperar cobre a partir de materiales que contienen sulfuro de cobre, tales como minerales y concentrados sulfurados que contienen cobre, tales como las plantas de procesamiento húmedo que incluyen circuitos de flotación, producen típicamente grandes volúmenes de relaves en forma de suspensiones acuosas de partículas, típicamente finas, pero pueden incluir partículas gruesas, que contienen pequeñas concentraciones de cobre en materiales que contienen sulfuro de cobre, tales como minerales de sulfuro de cobre.

65 La patente US2002194963 de W. Kohr describe un método para recuperar valores de metales preciosos a partir de minerales de sulfuro refractarios. El método incluye las etapas de separar las arcillas y los finos de un mineral de sulfuro refractario triturado, formar una pila a partir del mineral de sulfuro refractario, producir un concentrado de minerales de

- 5 sulfuro refractario a partir de los finos separados y agregar el concentrado a la pila, biolixivar la pila para oxidar los sulfuros de hierro y tratar el mineral biolixiviado para recuperar los metales preciosos. La patente US2015027901 de M. Theodore y col. proporciona un método para mejorar la biominería de minerales de sulfuro metálico al utilizar ácido sulfuroso para la lixiviación microbiana de metales pesados en una solución para su posterior retirada mediante electroextracción, intercambio de iones o precipitación con reactivos alcalinos y nutrientes para la retirada por filtración.
- 10 La siguiente descripción de los relaves se encuentra en el contexto de los relaves (a) en una balsa de relaves que almacena los relaves de una planta de procesamiento de minerales o (b) directamente de un flujo de relaves de la planta de procesamiento de minerales para materiales que contienen sulfuro de cobre, tal como los minerales que contienen sulfuro de cobre que contienen minerales de sulfuro de cobre.
- 15 Típicamente, los relaves se almacenan en balsas. Típicamente, las balsas tienen un tamaño considerable y la capacidad de la balsa aumenta a medida que continúa la minería.
- 20 15 Los relaves y las balsas de relaves frecuentemente presentan importantes riesgos medioambientales y de seguridad durante la vida útil de las minas.
- 25 Existen importantes problemas relacionados con el mantenimiento de las balsas de relaves durante la vida útil de las minas y la remediación de las balsas de relaves al final de la vida útil de las minas. Los sólidos suspendidos tardan un tiempo, frecuentemente considerable, en precipitarse para facilitar la eliminación segura de los sólidos. Además, existen posibles problemas con la integridad estructural de las balsas de relaves. Existen tecnologías de deshidratación conocidas para reducir los volúmenes de relaves, pero estas tecnologías añaden costes y complejidad a las operaciones mineras.
- 30 25 Periódicamente, se producen colapsos catastróficos de balsas de relaves que han causado la pérdida de vidas y daños considerables en las áreas situadas corriente abajo de las balsas.
- 35 También, existe la preocupación acerca de que las minas tomen las medidas necesarias para garantizar la integridad estructural de las paredes de las balsas a fin de minimizar el riesgo de colapso.
- 40 30 También, los relaves frecuentemente contienen contaminantes, ya sea directamente o mediante reacciones, lo que presenta desafíos para la remediación minera.
- 45 Por ejemplo, los relaves frecuentemente contienen concentraciones considerables de pirita, lo que representa un peligro medioambiental potencial dado que los relaves se pueden oxidar y producir un efluente ácido que requiere tratamiento, por ejemplo, neutralizando la acidez, antes de que los relaves se puedan descargar.
- 50 Es importante tener en cuenta que la retirada de contaminantes no es una respuesta si el coste es prohibitivo y/o los contaminantes, una vez retirados de los relaves, siguen siendo contaminantes, aunque en otro medio que se deba almacenar o contener de alguna manera.
- 55 40 Por lo tanto, los contaminantes tales como la pirita añaden una capa de complejidad al procesamiento de los relaves.
- 60 La invención proporciona un método que hace posible procesar de forma ventajosa los relaves que contienen pirita.
- 65 50 La descripción anterior y la descripción siguiente se centran en los relaves de las plantas de procesamiento húmedo de minerales que contienen cobre. La invención también se extiende a los relaves derivados del procesamiento de minerales que contienen otros metales, tales como cobalto, níquel y zinc.
- 70 La descripción anterior no es una admisión del conocimiento general común en Australia ni en cualquier otro sitio.
- Breve resumen de la descripción**
- 75 60 La invención se basa en la comprensión de que es posible retirar la pirita de una suspensión acuosa que contiene pirita, tal como los relaves que contienen pirita de una balsa de relaves o una planta de procesamiento de minerales, para obtener un material que contiene sulfuros metálicos, tal como un mineral que contiene sulfuro metálico que contiene minerales de sulfuro metálico, y usar la pirita para contribuir a retirar un metal, tal como cobre o níquel o zinc o cobalto, del material que contiene sulfuros metálicos de una manera que aprovecha la capacidad de generación de ácido y calor de la pirita y, al hacerlo, también reduce el impacto medioambiental de la pirita.
- 80 65 Una aplicación particular de la invención que interesa al solicitante y que el solicitante ha reconocido que es adecuada para el uso de la pirita retirada de relaves que contienen pirita es una aplicación de lixiviación en pila para un material extraído que contiene un metal, tal como cobre o níquel o zinc o cobalto. El solicitante ha descubierto que, en esta aplicación, la pirita se puede usar de forma ventajosa, a manera de ejemplo, en aglomerados del material extraído y la pirita que posteriormente se forman en una pila y se lixivian con un licor de lixiviación y microbios.

Como se ha indicado anteriormente, el término “material extraído” se entiende en la presente memoria como que incluye el material que se extrae y se transfiere desde la mina (a) directamente a una instalación de procesamiento posterior para recuperar un metal del material o (b) a una reserva.

- 5 Por lo tanto, la invención conlleva más que retirar la pirita de un flujo de residuos, especialmente una suspensión acuosa que contiene pirita. La invención hace esto y, por lo tanto, mejora la suspensión acuosa que contiene pirita desde una perspectiva medioambiental. Sin embargo, la invención también procesa la pirita retirada de la suspensión acuosa de una manera que hace posible usar la pirita de forma ventajosa en un proceso posterior y reduce el impacto medioambiental neto de la pirita.
- 10 La invención se define por las reivindicaciones. En términos generales, la invención proporciona un método para retirar el cobre de un material que contiene cobre de baja ley que tiene minerales de sulfuro de cobre que comprende:
- 15 (a) obtener una suspensión acuosa que contiene pirita de una balsa de relaves o un flujo de relaves de una planta de procesamiento de minerales;
- (b) retirar la pirita de la suspensión acuosa que contiene pirita haciendo flotar el material que contiene pirita y formar (i) un flujo inerte y (ii) un flujo que contiene el material que contiene pirita;
- 20 (c) mezclar un material que contiene cobre de baja ley que tiene minerales de sulfuro de cobre y el material que contiene pirita; y
- (d) lixiviar el cobre del material que contiene cobre con un licor de lixiviación y microbios,
- 25 en donde la pirita del material que contiene pirita genera ácido y calor que facilitan la lixiviación del cobre del material que contiene cobre, y
- en donde los microbios oxidan el hierro ferroso a hierro férrico.
- 30 La etapa de retirar la pirita de la suspensión acuosa que contiene pirita puede incluir seleccionar las condiciones de operación para que las partículas de pirita tengan la distribución de tamaño de partículas requerida para la etapa de lixiviación (d).
- 35 La etapa de retirar la pirita de la suspensión acuosa que contiene pirita puede incluir separar las partículas más grandes del material que contiene pirita de la suspensión acuosa restante que contiene pirita, reducir el tamaño de las partículas más grandes en un circuito de reducción de tamaño y devolver las partículas de tamaño reducido a la etapa de separación por tamaño.
- En términos generales, la invención proporciona un método de procesamiento de una suspensión acuosa que comprende:
- 40 (a) retirar la pirita de una suspensión acuosa que contiene pirita y formar un flujo inerte como se describe en la presente memoria y un material que contiene pirita; y
- (b) usar el material que contiene pirita en una etapa de lixiviación posterior, en la que la pirita del material que contiene pirita genera ácido y calor que facilitan la lixiviación de un metal, tal como cobre o níquel o zinc o cobalto, a partir de un material que contiene sulfuros metálicos, tal como un material extraído, tal como un mineral.
- Más particularmente, la invención proporciona un método de procesamiento de una suspensión acuosa que contiene pirita que comprende:
- 50 (a) retirar la pirita de una suspensión acuosa que contiene pirita y formar un flujo inerte como se describe en la presente memoria y un material que contiene pirita, en donde la suspensión acuosa que contiene pirita incluye relaves de una balsa de relaves o una planta de procesamiento de minerales; y
- 55 (b) lixiviar un material que contiene sulfuros metálicos y el material que contiene pirita con un licor de lixiviación y microbios y retirar el metal del material que contiene sulfuros metálicos y formar un licor de lixiviación cargado que contiene metal, generando la pirita del material que contiene pirita ácido y calor que facilitan la lixiviación del metal del material que contiene sulfuros metálicos, y oxidando los microbios el hierro ferroso a hierro férrico.
- 60 Se entiende que el término “inerte”, como se usa en la presente memoria en relación con un flujo inerte, significa que el flujo es menos reactivo que la suspensión acuosa de entrada al método en términos de la cantidad de pirita presente en el flujo.
- 65 Se entiende que el término “suspensión acuosa que contiene pirita”, como se usa en la presente memoria, significa cualquier suspensión acuosa que contiene pirita en cantidades que presentan un peligro medioambiental si no se trata o no se gestiona.

El término “planta de procesamiento de minerales” se entiende en la presente memoria como cualquier planta adecuada para recuperar un metal de un mineral.

5 La palabra “mineral” se entiende la presente memoria como una roca o sedimento natural que contiene uno o más minerales valiosos que contienen típicamente metales valiosos que se pueden extraer, tratar y vender con un beneficio.

El material que contiene sulfuros metálicos se puede obtener de cualquier material extraído adecuado.

10 El método descrito anteriormente tiene las siguientes ventajas:

10 • El método permite procesar relaves que contienen pirita y, de este modo, reducir los volúmenes de las balsas de relaves existentes. Este es un resultado medioambiental importante que, típicamente, implica un uso mínimo de los recursos.

15 • La retirada de pirita de una suspensión acuosa que contiene pirita de una balsa de relaves o de una planta de procesamiento de minerales, según la invención, produce dos “productos” que son útiles como consecuencia de la invención.

20 • Un producto es un flujo inerte. Como se define anteriormente, “inerte” significa que el flujo es menos reactivo que la suspensión acuosa de entrada al método en términos de la cantidad de pirita presente en el flujo inerte. Esto es beneficioso porque la pirita presente en los relaves es un problema medioambiental porque la pirita hace que los relaves “generen ácido” y esto es un problema a la hora de eliminar los relaves. El método proporciona la oportunidad de producir una salida que sea medioambientalmente segura para su uso en aplicaciones posteriores, tal como en plantas de procesamiento de minerales de cobre o níquel o zinc o cobalto (en el caso de una porción acuosa del flujo inerte) y como material de cobertura/relleno de suelos (en el caso de una porción sólida del flujo inerte). Con respecto a la posibilidad de material de cobertura/relleno de suelos, esto es posible en vista de la reducción o la eliminación sustancial y completa de la capacidad de la porción sólida para generar un drenaje ácido.

25 • El segundo producto es un material que contiene pirita que se usa de forma ventajosa como fuente de pirita en las etapas posteriores del método de la invención y, como consecuencia, minimiza el impacto medioambiental adverso de la pirita. Por ejemplo, el material que contiene pirita del segundo producto se puede usar de forma ventajosa en las etapas del método para recuperar un metal, tal como cobre o níquel o zinc o cobalto, a partir de un material que contiene sulfuros metálicos, tal como mediante lixiviación en pila de un material que contiene sulfuros metálicos, por ejemplo, roca estéril, tal como un material que contiene sulfuros metálicos de baja ley, tal como un material que contiene sulfuro de cobre de baja ley. En este sentido, la capacidad de generación de ácido y calor de la pirita es una ventaja para la lixiviación en pila. Por ejemplo, la pirita puede reducir la cantidad de ácido añadido que se requiere en el licor de lixiviación. Además, la oxidación de la pirita es una reacción altamente exotérmica y el calor que se genera permite la lixiviación a temperatura elevada, lo que resulta en una extracción más rápida y completa de los metales durante la lixiviación en pila. Cabe señalar que cualquier metal, tal como cobre o níquel o zinc o cobalto, presente en el material que contiene pirita supone un beneficio añadido: se introduce en la pila con pirita y se puede recuperar en la etapa de lixiviación en pila.

30 • El método se puede operar con equipos fácilmente disponibles y contrastados.

35 • El método permite procesar lo que anteriormente se había clasificado como materiales de desecho que contienen sulfuros metálicos, tales como relaves y roca estéril, y reducir el impacto medioambiental de estos materiales, así como optimizar la recuperación del valor del material extraído originalmente.

40 Cabe señalar que el término “baja ley”, como se usa en la frase “material que contiene sulfuro de cobre de baja ley” mencionada anteriormente, se entiende en la presente memoria como un término que depende de la tecnología disponible actualmente y del precio actual del cobre, y que el material actualmente considerado de “baja ley” puede considerarse material valioso en el futuro dependiendo de los avances tecnológicos y del precio futuro del cobre.

45 La etapa de retirada de pirita (a) puede incluir procesar la suspensión acuosa que contiene pirita mediante cualquier método que recupere la pirita de la suspensión acuosa.

50 La etapa de retirada de pirita (a) puede incluir procesar la suspensión acuosa que contiene pirita mediante cualquier método que recupere y concentre la pirita de la suspensión acuosa.

55 La etapa de retirada de pirita (a) puede incluir la flotación del material que contiene pirita en la suspensión acuosa que contiene pirita y producir (i) el flujo inerte como una salida de flotación y (ii) el material que contiene pirita, tal como un flujo de concentrado que contiene pirita, tal como otra salida de flotación.

60 La etapa de retirada de pirita (a) puede incluir, antes de la etapa de flotación anterior, una etapa de separación por tamaño de la suspensión acuosa que contiene pirita, tal como mediante ciclones u otros dispositivos de clasificación adecuados, que, por ejemplo, separen las partículas más grandes del material que contiene pirita de la suspensión acuosa que contiene pirita, transfiriendo la suspensión acuosa restante que contiene pirita a la etapa de flotación.

El término “ciclón” se entiende en la presente memoria como un dispositivo que puede clasificar, separar u ordenar partículas en una suspensión líquida basándose en la relación entre su fuerza centrípeta y la resistencia del líquido. Esta relación es alta para las partículas densas (donde se requiere la separación por densidad) y gruesas (donde se requiere la separación por tamaño), y baja para las partículas ligeras y finas.

- 5 La etapa de retirada de pirita (a) puede incluir reducir el tamaño de las partículas más grandes del material que contiene pirita en un circuito de reducción de tamaño y devolver las partículas de tamaño reducido a la etapa de separación por tamaño.
- 10 La etapa de retirada de pirita (a) puede incluir seleccionar las condiciones de operación para la etapa de separación por tamaño de modo que las partículas de pirita del material que contiene pirita de la suspensión acuosa restante que contiene pirita tengan una distribución de tamaño de partículas requerida para el procesamiento posterior de los relaves, por ejemplo, en una instalación de lixiviación en pila.
- 15 La etapa de retirada de pirita (a) puede incluir espesar y/o filtrar el flujo de material que contiene pirita y deshidratar el flujo y formar un concentrado que contiene pirita.
- 20 El método puede incluir cualquier etapa de procesamiento posterior adecuada para el flujo inerte producida en la etapa de retirada de pirita (a).
- 25 Las etapas de procesamiento pueden incluir usar una porción acuosa del flujo inerte como fuente de agua en las plantas de procesamiento para recuperar cobre o níquel o zinc o cobalto de minerales que contienen al menos uno de estos metales.
- 30 Una porción sólida del flujo inerte se puede usar como material de cobertura/relleno para cubrir las balsas de relaves y, generalmente, para llenar huecos, por ejemplo, huecos de los vertederos de roca estéril mezclando los relaves con la roca estéril antes de su eliminación.
- 35 La porción sólida también se puede usar en materiales de construcción, tales como para fabricar hormigón o ladrillos.
- 40 La etapa de lixiviación (b) puede incluir cualquier etapa de lixiviación adecuada que lixivie un metal, tal como cobre o níquel o zinc o cobalto, del material que contiene sulfuros metálicos.
- 45 Típicamente, la pirita representa el 1 - 10 % en peso de la masa total del material que contiene sulfuro de cobre y el material que contiene pirita.
- 50 El método puede incluir mezclar el material que contiene sulfuros metálicos y el material que contiene pirita antes de la etapa de lixiviación (b).
- 55 A manera de ejemplo, la etapa de lixiviación (b) puede incluir:
 - i. mezcla del material que contiene pirita y el material que contiene sulfuros metálicos, tal como material que contiene sulfuro de cobre, y formar aglomerados;
 - ii. lixiviación en pila del metal, tal como el cobre, de una pila de aglomerados y producir un licor de lixiviación cargado que contiene el metal, tal como el cobre, en solución; y
 - iii. recuperación del metal, tal como el cobre, del licor de lixiviación cargado.
- 60 Las partículas de pirita del material que contiene pirita pueden tener un tamaño de partícula de P₈₀ de 1 mm o un valor de <1 mm.
- 65 Las partículas de pirita del material que contiene pirita pueden tener un tamaño de partícula de P₈₀ de 250 µm o un valor de < 250 µm.
- 66 La etapa de aglomeración (i) puede ser cualquier etapa adecuada para aglomerar el material que contiene pirita y el material que contiene sulfuro de cobre.
- 67 La etapa de aglomeración (i) puede incluir mezclar y aglomerar el material que contiene pirita y el material que contiene sulfuros metálicos, tal como el material que contiene sulfuro de cobre.
- 68 La etapa de mezcla se puede llevar a cabo antes de la etapa de aglomeración.

Las etapas de mezcla y aglomeración se pueden llevar a cabo simultáneamente.

El material que contiene sulfuros metálicos se puede obtener de cualquier material extraído adecuado.

5 El metal puede ser cobre.
En ese caso, a manera de ejemplo, el material que contiene sulfuros metálicos puede ser un material que contiene sulfuro de cobre.

10 El material que contiene sulfuro de cobre puede ser cualquier material adecuado que contenga sulfuro de cobre, tal como un mineral de sulfuro de cobre.

15 Un ejemplo del material que contiene sulfuro de cobre son las rocas que contienen bajas concentraciones de cobre y, por ejemplo, se pueden considerar roca estéril.

20 El material que contiene sulfuro de cobre puede estar en forma de material extraído o de reservas de residuos de material que contiene sulfuro de cobre que tiene baja ley, es decir, bajas concentraciones, de cobre en el material, teniendo en cuenta la explicación anterior del término “baja ley” como se utiliza en la frase “material que contiene sulfuro de cobre de baja ley”.

25 En otras palabras, el material que contiene sulfuro de cobre puede ser material extraído o de reservas que se consideran de ley demasiado baja para procesarse de manera económica en sistemas de flotación y otros sistemas de procesamiento húmedo para recuperar cobre de minerales y concentrados que contienen cobre.

30 Más particularmente, el material que contiene sulfuro de cobre puede ser material extraído o de reservas que son de una ley demasiado baja para procesarse de manera económica mediante cualquier otro método de procesamiento, incluida la lixiviación en pila.

35 En el contexto de los tres párrafos anteriores, se entiende el término “bajas concentraciones de cobre” una concentración media de cobre de $\leq 1,5\%$ en peso, típicamente de $\leq 1,2\%$ en peso, más típicamente de $\leq 1,0\%$ en peso, aún más típicamente de $\leq 0,7\%$ en peso, aún más típicamente de $\leq 0,5\%$ en peso, aún más típicamente de $\leq 0,3\%$ en peso, aún más típicamente de $\leq 0,1\%$ en peso.

40 La invención también proporciona un método de lixiviación en pila para un material extraído que contiene un metal, tal como cobre o níquel o zinc o cobalto, en un material que contiene sulfuros metálicos caracterizado por:

(a) lixiviar una pila de aglomerados producidos a partir de (i) un material que contiene pirita producido a partir de una suspensión acuosa que contiene pirita, tal como los relaves que contienen pirita de una balsa de relaves o una planta de procesamiento de minerales, y (ii) un material extraído que contiene un metal, tal como cobre o níquel o zinc o cobalto, en un material que contiene sulfuros metálicos, con un licor de lixiviación y microbios, generando la pirita en el material que contiene pirita ácido y calor que facilitan la lixiviación del metal del material extraído, y oxidando los microbios el hierro ferroso a hierro férrico; y

45 (b) recuperar de la pila un licor de lixiviación cargado que contenga el metal en solución.

50 El método de lixiviación en pila también comprende recuperar el metal del licor de lixiviación cargado.

La invención también proporciona una pila que lixivia un metal, tal como cobre o níquel o zinc o cobalto, de un material que contiene sulfuros metálicos en un material extraído, comprendiendo la pila:

55 (a) una pila de aglomerados producidos a partir de (i) un material que contiene pirita producido a partir de una suspensión acuosa que contiene pirita, tal como los relaves que contienen pirita de una balsa de relaves o una planta de procesamiento de minerales, y (ii) un material extraído que contiene un metal, tal como cobre o níquel o zinc o cobalto, en un material que contiene sulfuros metálicos; y

(b) un sistema que (i) suministra un licor de lixiviación y microbios a la pila para que el licor de lixiviación fluya hacia abajo a través de la pila y lixivie el metal del material extraído y (ii) recupera un licor de lixiviación cargado que contiene el metal en solución de la pila, generando la pirita ácido y calor en la pila que facilita la lixiviación del metal del material extraído, y oxidando los microbios el hierro ferroso a hierro férrico.

60 La pirita puede representar el 1 - 10 % en peso de la masa total de los aglomerados.

En términos generales, la invención también proporciona un método de extracción que comprende:

65 (a) extraer un mineral que contiene sulfuro metálico, tal como un mineral que contiene sulfuro de cobre;

(b) procesar el mineral que contiene sulfuro metálico en una planta de procesamiento de minerales y producir una suspensión acuosa que contiene pirita; y

(c) el método descrito anteriormente de procesamiento de la suspensión acuosa que contiene pirita.

5 La presente invención también proporciona un circuito de flotación para una planta de procesamiento de minerales para un material que contiene sulfuros metálicos, incluyendo el circuito de flotación:

10 (a) un circuito de flotación de alimentación de molino para producir un flujo de relaves y un flujo de concentrado a partir de una alimentación de molino, comprendiendo el flujo de relaves un material que contiene sulfuros metálicos; y

(b) un circuito de flotación de pirita para producir un flujo de concentrado de pirita, es decir, una suspensión acuosa que contiene pirita, y un flujo de relaves.

15 El circuito de flotación de pirita se puede configurar para procesar el flujo de concentrado de pirita, es decir, una suspensión acuosa que contiene pirita, según el método descrito anteriormente de procesamiento de una suspensión acuosa que contiene pirita.

20 El circuito de flotación de alimentación de molino puede ser cualquier circuito adecuado.

25 El circuito de flotación de alimentación de molino puede incluir una célula desbastadora/recuperadora y una célula de limpiador de concentrado. Estas pueden ser células estándar desbastadoras/recuperadoras y de limpiador de concentrado. Estas pueden ser células existentes en una planta de procesamiento de minerales. Pueden ser células de una planta de nueva construcción.

30 Las células desbastadoras/recuperadoras y de limpiador de concentrado se pueden configurar de forma que: (i) la célula desbastadora/recuperadora procesa la alimentación de molino y produce un primer flujo de relaves y un flujo de concentrado y (ii) la célula de limpiador de concentrado procesa el flujo de concentrado y produce un segundo flujo de relaves y otro flujo de concentrado y transfiere el otra flujo de concentrado para su procesamiento adicional, tal como la recuperación de metales, y el segundo flujo de relaves al circuito de flotación de pirita para su procesamiento en ese circuito.

35 El material que contiene sulfuros metálicos puede ser un material que contiene sulfuro de cobre, tal como un mineral que contiene sulfuro de cobre.

40 La alimentación de molino puede ser cualquier distribución adecuada de tamaño de partículas del material que contiene sulfuros metálicos.

45 La planta de procesamiento de minerales puede incluir cualquier circuito anterior adecuado de conminución para producir la alimentación de molino y la posterior recuperación y almacenamiento de relaves u otras opciones.

50 La presente invención también proporciona una planta de procesamiento de minerales para un material que contiene sulfuros metálicos que comprende el circuito de flotación anterior.

55 La planta de procesamiento de minerales también puede incluir cualquier circuito anterior adecuado de conminución y opciones posteriores de recuperación y almacenamiento y/o tratamiento de relaves.

60 El material que contiene sulfuros metálicos puede ser un material que contiene sulfuro de cobre, tal como un mineral que contiene sulfuro de cobre.

65 La presente invención también proporciona una instalación de lixiviación en pila para lixiviar un metal, tal como cobre o níquel o zinc o cobalto, de un material que contiene sulfuros metálicos en un material extraído, comprendiendo la instalación de lixiviación en pila:

(a) una pila de aglomerados del material que contiene sulfuros metálicos y pirita, tal como la pirita obtenida del método descrito anteriormente de procesamiento de una suspensión acuosa que contiene pirita; y

(b) un sistema que (i) suministra licor de lixiviación y microbios a la pila para que el licor de lixiviación fluya hacia abajo a través de la pila y lixieve el metal del material que contiene sulfuros metálicos y (ii) recupera un licor de lixiviación cargado que contiene el metal en solución de la pila, generando la pirita ácido y calor en la pila que facilita la lixiviación del metal del material que contiene sulfuros metálicos, estando u obteniéndose la pirita de una suspensión acuosa que contiene pirita, tal como relaves de minas, y oxidando los microbios el hierro ferroso a hierro férrico.

70 El material que contiene sulfuros metálicos se puede obtener de cualquier material extraído adecuado.

Como se ha indicado anteriormente, el término “material extraído” se entiende en la presente memoria como que incluye el material que se extrae y se transfiere desde la mina (a) directamente a una instalación de procesamiento posterior para recuperar un metal del material o (b) a una reserva.

5 **Breve descripción de los dibujos**

La invención se describe con más detalle a continuación a manera de ejemplo solo con referencia las siguientes Figuras, de las cuales:

- 10 la Figura 1 es un diagrama de flujo de una realización de un método de procesamiento, por ejemplo, por beneficio, de relaves que contienen pirita, es decir, una suspensión acuosa que contiene pirita, y utilizando la pirita retirada de los relaves en la posterior lixiviación en pila de un material que contiene sulfuro de cobre;
- 15 la Figura 2 es un gráfico de la extracción del cobre frente al tiempo de lixiviación para una serie de ensayos de biolixiviación en columna realizados con (i) una muestra de mineral de una mina de cobre, (ii) el mineral de cobre aumentado con pirita de grado museístico finamente pulverizada y (iii) el mineral de cobre aumentado con concentrado de pirita producido por la flotación de los relaves producidos en la mina de cobre; y
- 20 la Figura 3 es un diagrama de flujo de una realización de un circuito de flotación para una planta de procesamiento de minerales según la invención.

Descripción de las realizaciones

- 25 Una realización del método de procesamiento, por ejemplo, por beneficio, de una suspensión acuosa que contiene pirita en forma de relaves de una balsa de relaves o de una planta de procesamiento de minerales de una mina según la invención mostrada en la Figura 1 retira la pirita de los relaves y produce un flujo inerte que es adecuado para usar en aplicaciones posteriores y un material que contiene pirita que se usa de forma ventajosa, como se describe a continuación, en la posterior lixiviación en pila de un material que contiene sulfuro de cobre y, como consecuencia, minimiza el impacto medioambiental adverso de la pirita.

30 En otras palabras, la realización produce dos “productos” a partir de la suspensión acuosa que contiene pirita.

- 35 Se entiende que la invención no se limita a esta realización y se extiende generalmente a un método de procesamiento, por ejemplo, por beneficio, de una suspensión acuosa que contiene pirita, tal como relaves que contienen pirita producidos en una mina, que comprende retirar la pirita de la suspensión acuosa y formar dos “productos” en forma de (a) un flujo inerte y (b) un material que contiene pirita, típicamente un material sólido, tal como un concentrado sólido que se puede usar en una aplicación distinta de la posterior lixiviación en pila de un material que contiene sulfuro de cobre.

40 Cabe señalar que la suspensión acuosa que contiene pirita puede ser cualquier suspensión acuosa adecuada que contenga pirita, tal como relaves, de una planta de procesamiento de minerales. El Ejemplo 2 y la Figura 3 describen una realización de un circuito de flotación según la invención para producir una suspensión acuosa adecuada que contiene pirita.

45 En términos generales, la realización mostrada en la Figura 1 incluye un método para retirar el cobre de un material que contiene cobre de baja ley que tiene minerales de sulfuro de cobre, incluyendo el método lixiviar el material que contiene cobre de baja ley y la pirita y producir un licor de lixiviación cargado y recuperar el cobre del licor de lixiviación, produciéndose la pirita a partir de una suspensión acuosa que contiene pirita.

En términos generales, la realización mostrada en la Figura 1 es un método de extracción que comprende:

- 50 (a) extraer y, opcionalmente, enviar a una reserva un material que contiene sulfuro de cobre, tal como un mineral que contiene sulfuro de cobre;
- 55 (b) procesar un mineral que contiene sulfuro de cobre, como se describe en la presente memoria, en el material que contiene sulfuro de cobre en una planta de procesamiento de minerales y (i) recuperar cobre y (ii) producir una suspensión acuosa que contiene pirita;
- 60 (c) procesar la suspensión acuosa que contiene pirita y producir pirita; y
- 65 (d) procesar material “no económico” que contiene sulfuro de cobre de baja ley, como se describe en la presente memoria, con pirita en una instalación de lixiviación en pila.

En términos más específicos, en relación con el procesamiento de la suspensión acuosa que contiene pirita y la producción de pirita y el uso posterior de la pirita, con referencia a la Figura 1, el método incluye las siguientes etapas:

- 65 (a) las etapas de separación 15, 16, 17, 18, 19, 20 que procesan los relaves que contienen pirita de una balsa de relaves o una planta de procesamiento de minerales (no se muestran en la Figura 1, pero se muestran en parte

a manera de ejemplo en la Figura 3) de la mina y producen dos “productos” en forma de (i) un flujo 20 de concentrado sólido que contiene pirita y (a) un flujo inerte a partir de los relaves;

5 (b) una etapa de aglomeración 4 que mezcla y aglomera (i) el flujo 20 de concentrado que contiene pirita de las etapas de separación y (ii) al menos un material sólido que contiene sulfuro de cobre que se ha procesado en las etapas 1, 2, 3;

(c) una etapa de lixiviación 6 en pilas que lixivia el cobre del material que contiene sulfuro de cobre en una pila de los aglomerados producidos en la etapa de aglomeración 4 y produce un licor de lixiviación cargado; y

10 (d) las etapas de recuperación 9 y 10 de cobre que recuperan el cobre del licor de lixiviación cargado de la pila.

Etapas de separación 15, 16, 17, 18, 19, 20 para relaves que contienen pirita

15 Típicamente, los relaves son una salida de una planta de procesamiento de minerales para recuperar cobre de un mineral que contiene sulfuro de cobre que contiene material que contiene sulfuro de cobre, tal como minerales de sulfuro de cobre.

La planta de procesamiento de minerales puede ser cualquier planta adecuada.

20 Un ejemplo de una planta de procesamiento de minerales es aquella que incluye la comminución del mineral extraído, que implica una serie de etapas de trituración y molienda y uno o más de un circuito de flotación para hacer flotar minerales de sulfuro de cobre del mineral triturado (descrito anteriormente y en el Ejemplo 2 como “alimentación de molino”) y producir una valiosa salida de concentrado y una salida de relaves (una suspensión acuosa que contiene pirita).

25 Típicamente, los sólidos de los relaves están en forma de una suspensión acuosa de (a) partículas finas con bajas concentraciones de cobre, típicamente inferiores al 0,4 % en peso, más típicamente inferiores al 0,3 % en peso, y (b) partículas que contienen pirita suspendidas en agua. Típicamente, estas partículas finas y que contienen pirita se precipitan lentamente. Las partículas que contienen pirita también pueden contener algo de cobre.

30 Los relaves se transfieren, por ejemplo, mediante bombeo, desde una balsa de relaves u otra fuente adecuada de relaves 15, tal como directamente desde la planta de procesamiento de minerales, a una serie de ciclones 16 o cualquier otra opción adecuada de separación por tamaño que separe los sólidos más grandes de los relaves restantes que contienen partículas finas y forme dos flujos separados.

35 Los ciclones 16 también pueden ser cualquier ciclón adecuado.

35 Los sólidos más grandes de los ciclones 16 se procesan en un circuito de reducción de tamaño, tal como un circuito 17 de molienda/trituración/pulido, que reduce los tamaños de partícula de los sólidos más grandes.

40 La salida de este circuito se devuelve a los ciclones 16 para su procesamiento adicional en los ciclones.

45 Las condiciones de operación de los ciclones 16 se seleccionan de modo que las partículas que contienen pirita presentes en los relaves restantes tengan la distribución de tamaño de partículas requerida para la etapa 5 de lixiviación en pila. A este respecto, típicamente, las partículas que contienen pirita presentes en los relaves restantes tienen un tamaño de partícula de P_{80} de 1 mm o un valor de <1 mm. Más típicamente, las partículas de pirita presentes en los relaves restantes tienen un tamaño de partícula de P_{80} de 250 μm o un valor de <250 μm .

50 Los relaves restantes de los ciclones 16 se transfieren a un primer circuito 18 de flotación (descrito en el Ejemplo 2 en relación con la Figura 3 como una “célula de flotación de pirita”) y se procesan en el circuito. Se añaden reactivos de flotación adecuados al circuito según sea necesario. Las condiciones de operación, que incluyen los reactivos, se seleccionan para hacer flotar partículas que contienen pirita. Típicamente, estas condiciones de operación también harán flotar partículas de cobre.

55 La descarga gruesa del primer circuito de flotación forma el flujo inerte mencionado anteriormente. Como se ha indicado anteriormente, el término “inerte” significa que el flujo es menos reactivo que la suspensión acuosa de entrada al método en términos de la cantidad de pirita presente en el flujo. En el contexto de la Figura 1, esto significa que el flujo de descarga gruesa es menos reactivo que los relaves que contienen pirita suministrados al método en términos de la cantidad de pirita presente en el flujo. Como se ha indicado anteriormente, esto es beneficioso porque la pirita presente en los relaves es un problema medioambiental porque la pirita hace que los relaves sean “relaves que generan ácido” y esto es un problema a la hora de eliminar los relaves. El método proporciona la oportunidad de producir una salida que sea medioambientalmente segura para su uso en aplicaciones posteriores, tal como en plantas de procesamiento de minerales de cobre, y puede reducir los requisitos de oxidante (hierro férrico). El hierro férrico (producido por la oxidación microbiana del hierro ferroso que se disuelve a partir del concentrado de pirita y los minerales que contienen hierro en la roca estéril) oxida la pirita y los minerales de sulfuro de cobre. En la realización de la Figura 1, el flujo de descarga gruesa para el primer circuito de flotación se transfiere a una etapa de neutralización 11 posterior que se describe a continuación.

El flujo de rebose, es decir, flotado, del primer circuito de flotación se transfiere y se procesa en un segundo circuito 19 de flotación (descrito en el Ejemplo 2 en relación con la Figura 3 como una “célula de flotación de pirita”).

5 Se añaden reactivos de flotación adecuados al segundo circuito 19 de flotación según sea necesario. Las condiciones de operación, que incluyen los reactivos, se seleccionan para hacer flotar partículas que contienen pirita.

La descarga gruesa del segundo circuito de flotación se transfiere de nuevo al primer circuito de flotación.

10 El rebose que contiene pirita del segundo circuito de flotación se transfiere a los espesadores 20 y se deshidrata y forma un concentrado que contiene pirita.

El concentrado que contiene pirita se transfiere de los espesadores 20 a la etapa de aglomeración 4 descrita a continuación.

15 Cabe señalar que, si bien la realización descrita tiene dos circuitos 18, 19 de flotación, la invención no se limita a este número de circuitos.

También cabe señalar que, si bien la realización descrita incluye ciclones 16 y un circuito 17 de molienda/trituración/pulido y devuelve el material a los ciclones 16, la invención no se limita a esta disposición.

20 Por ejemplo, la combinación de los ciclones 16 y el circuito 17 de molienda/trituración/pulido no sería necesaria si la distribución de tamaño de partículas en los relaves suministrados desde la balsa de relaves u otra fuente adecuada de relaves 15 es adecuada para el procesamiento posterior después de las etapas de separación.

25 A manera de ejemplo adicional, la combinación de los ciclones 16 y el circuito 17 de molienda/trituración/pulido no sería necesaria cuando haya etapas posteriores para optimizar la distribución de tamaño de partículas de las partículas de pirita en el concentrado que contiene pirita.

Etapa de aglomeración 4

30 La etapa de aglomeración 4 aglomera:

(a) el concentrado que contiene pirita obtenido de relaves descrito anteriormente; y

(b) un material que contiene sulfuro de cobre producido en las etapas 2 y 3.

35 El material que contiene sulfuro de cobre en esta realización del método de la invención incluye roca estéril que contiene sulfuro de cobre y se explica en la siguiente sección.

40 Cabe señalar que el material que contiene sulfuro de cobre puede ser cualquier material adecuado que contenga sulfuro de cobre teniendo en cuenta las características, tales como la distribución de tamaño de partículas, del concentrado obtenido de relaves y los requisitos para el procesamiento posterior de los aglomerados.

45 La etapa de aglomeración 4 puede ser cualquier etapa de aglomeración adecuada que utilice cualquier aparato adecuado, tal como tambores de aglomeración.

A manera de ejemplo, las relaciones requeridas del concentrado que contiene pirita y el material que contiene sulfuro de cobre se añaden a un dispositivo de mezcla y se mezclan entre sí, con o sin un aglutinante, con o sin un ácido, y con o sin agua añadida, y con o sin solución de lixiviación reciclada.

50 Las relaciones requeridas dependen de factores tales como la cantidad de pirita presente en la roca. Típicamente, un amplio intervalo de concentración de pirita para el producto mixto es del 1 - 10 % en peso de pirita.

55 La selección del aglutinante y el ácido y la adición de agua y/o solución de lixiviación reciclada dependen de cierto número de factores, que incluyen las características del concentrado que contiene pirita y los materiales de alimentación que contienen sulfuro de cobre y las propiedades mecánicas requeridas de los aglomerados.

La etapa de aglomeración 4 puede incluir cualquier protocolo adecuado para añadir y mezclar el concentrado que contiene pirita, los materiales de alimentación sólidos que contienen sulfuro de cobre y el aglutinante y el agua, si es necesario.

60 Los aglomerados se almacenan en una pila 5 y se transfieren a las etapas de lixiviación en pila que se describen a continuación.

Etapas de procesamiento de material que contiene cobre - 1, 2, 3

65 En el diagrama de flujo mostrado en la Figura 1, el material que contiene sulfuro de cobre está en forma de roca estéril que tiene cobre de baja ley que se ha vuelto a extraer de las reservas 1.

Como se ha indicado anteriormente, en la actualidad, estas reservas se consideran de ley demasiado baja para procesarse de manera económica en sistemas de flotación y otros sistemas de procesamiento de minerales para recuperar cobre de minerales y concentrados que contienen sulfuro de cobre.

- 5 Como se ha indicado anteriormente, la invención no se limita a esta fuente de material que contiene sulfuro de cobre.
- 10 Por ejemplo, el material que contiene sulfuro de cobre puede ser un material que se considera de ley demasiado baja para procesarse de manera económica para recuperar cobre mediante métodos convencionales conocidos en ensayos realizados en una sección de una mina antes de extraerlo (por ejemplo, mediante perforación y voladura) y luego, después de la extracción, se transfiere directamente desde la mina (sin destinarse a una reserva) para su procesamiento en las etapas 2 y 3.
- 15 La roca 1 estéril de la reserva se transporta en vehículos adecuados, tales como camiones de arrastre o cargadores frontales, o en transportadores mecánicos a los circuitos de conminución, y se tritura y muele en los circuitos 2, 3 de conminución primarios, secundarios y terciarios en la medida requerida para producir una distribución adecuada de tamaño de partículas para la etapa de aglomeración 4.
- 20 Los circuitos 2, 3 de conminución pueden incluir etapas de trituración únicas o múltiples que suministran material que contiene cobre triturado a una o múltiples etapas de molienda y dimensionamiento para producir el flujo de productos de conminución que tenga una distribución deseada de tamaño de partículas para la etapa de aglomeración 4.
- 25 Las etapas 2, 3 de trituración se pueden llevar a cabo usando una combinación de trituradoras giratorias, cónicas y de rodillos de molienda de alta presión (HPGR) (no se muestran en las Figuras).
- 30 El material resultante que contiene sulfuro de cobre triturado se transfiere a la etapa de aglomeración 4.
- 35 Etapas de lixiviación en pila, extracción posterior con disolvente y extracción electrolítica - 5, 6, 9, 10, 11, 12
- 30 Los aglomerados de la pila 5 forman una pila 6 de aglomerados sobre una plataforma de lixiviación.
- La pila 6 puede ser cualquier estructura adecuada de pila y estar provista de:
- 35 (a) un sistema de almacenamiento y suministro de licor de lixiviación para suministrar el licor de lixiviación a la superficie superior de la pila;
- (b) un sistema de recuperación de licor de lixiviación cargado para recolectar licor de lixiviación que contiene cobre en solución que se extrae de materiales que contienen sulfuro de cobre en los aglomerados de la pila; y
- 40 (c) microbios (tales como bacterias o arqueas) u otros oxidantes adecuados para oxidar el hierro ferroso a hierro férrico, siendo el hierro férrico un oxidante en el proceso de lixiviación.
- 45 El licor de lixiviación cargado se procesa en un sistema 9 de extracción con disolvente que extrae el cobre del licor en un medio orgánico y, a continuación, separa el cobre del medio orgánico y produce una solución que contiene cobre.
- 50 La solución que contiene cobre se transfiere a una planta 10 de extracción electrolítica y se recupera el cobre de la solución.
- 55 El refinado del sistema 9 de extracción con disolvente se regenera y se devuelve a la pila en forma de licor de lixiviación. El sistema de regeneración del licor de lixiviación incluye una etapa 11 de neutralización de piedra caliza/cal purgada por refinado para controlar la acumulación de impurezas, generando sólidos neutralizados para su depósito por separado en una instalación de almacenamiento de residuos de neutralización 12 o, posiblemente, para su depósito conjunto con los relaves.
- 60 El concentrado que contiene pirita en los aglomerados proporciona valiosas fuentes de ácido y calor a través de la pirita.
- 65 Las propiedades generadoras de ácido de la pirita significan que es posible reducir las cantidades de ácido que se deben añadir al licor de lixiviación para mantener un requisito determinado de ácido de lixiviación.
- Además, la oxidación microbiana de la pirita produce ácido y calor, todos los cuales son beneficiosos para la lixiviación en pila del material que contiene sulfuro de cobre.
- Ventajas de la realización mostrada en la Figura 1
- Las ventajas de la realización descrita anteriormente y mostrada en la Figura 1, y de la invención generalmente, incluyen las siguientes:

- Esta realización permite producir dos “productos” de salida a partir de relaves que contienen pirita.
 - Un producto es un flujo inerte.
- 5 • El segundo producto es un concentrado de pirita que se puede usar de forma ventajosa en un método posterior de lixiviación en pila para un material que contiene cobre. En esta aplicación, el objetivo principal es el uso beneficioso de la pirita para generar ácido y calor en una pila a fin de reducir los requisitos de ácido añadido para la lixiviación en pila y generar temperaturas elevadas que aumenten la tasa y el grado de extracción de cobre del material que contiene cobre.
- 10 • Esta realización permite reducir el impacto medioambiental de los relaves que contienen pirita y utilizar al menos la pirita extraída de forma ventajosa.
- 15 • La realización permite optimizar la recuperación cobre de un material extraído a bajo coste, con un impacto medioambiental mínimo y un uso mínimo de los recursos.
- 15 • La realización utiliza equipos fácilmente disponibles y contrastados.

Ejemplo 1

20 El solicitante ha realizado ensayos de biolixiviación en columna para investigar el impacto del aumento de pirita en la biolixiviación de un mineral de cobre.

25 Los ensayos de biolixiviación en columna evaluaron la extracción de cobre contra el tiempo de lixiviación de (i) una muestra de mineral de una mina de cobre, (ii) el mineral de cobre aumentado con pirita de grado museístico finamente pulverizada y (iii) el mineral de cobre aumentado con concentrado de pirita producido por la flotación de los relaves producidos en la mina de cobre.

30 Se trituró una muestra de mineral de una mina de cobre hasta <12 mm, con un P₈₀ de 9 mm, y se añadieron aproximadamente 10 kg de este material a un tambor de aglomeración con agua y ácido sulfúrico concentrado.

35 En los ensayos con pirita añadida, se mezcló pirita casi pura de grado museístico, o un concentrado de pirita fina producido por flotación de relaves producidos en una mina de cobre, con el mineral del tambor de aglomeración para incrementar, o aumentar, el contenido de pirita del material aglomerado del 0,86 % en peso de pirita presente de forma natural en el mineral al 4,0 % en peso de pirita. Ambas muestras de pirita utilizadas eran muy finas, con un P₁₀₀ de 150 µm. Las muestras se sometieron a análisis elementales y mineralógicos.

40 Cabe señalar que el término “pirita de grado museístico” se entiende en la presente memoria como un contenido de pirita superior al 90 % en peso, típicamente superior al 95 % en peso, típicamente superior al 97 % en peso, o más típicamente superior al 99 % en peso. La pirita de grado museístico puede tener un contenido de plata inferior a 1 mg/kg, típicamente inferior a 0,5 mg/kg, típicamente inferior a 0,2 mg/kg o, más típicamente inferior a 0,1 mg/kg.

45 La Tabla 1 resume las composiciones elementales y mineralógicas del mineral, la pirita de grado museístico y el concentrado de pirita utilizados en los ensayos.

45 Tabla 1: Elementos principales y minerales de sulfuro en las muestras de mineral y pirita.

	Elemento o mineral	Mineral	Pirita de grado museístico	Concentrado de pirita
50	Cobre, %	0,63	0,15	1,1
	Hierro, %	1,19	46,1	41,1
	Azufre, %	0,90	52,9	47,4
55	Plata, ppm	1,20	0,05	14,2
	Calcopirita %	1,10	0,40	1,5
	Calcosina, %	-	-	0,18
60	Covelita, %	0,11	-	0,06
	Bornita, %	0,11	-	0,53
	Nukundamita, %	0,10	-	0,03
65	Pirita, %	0,86	99	85

Una vez mezclado, el material aglomerado se cargó en columnas de 1 m de altura y 0,1 m de diámetro y se dejó curar durante 2-5 días a temperatura ambiente antes de que comenzara la lixiviación. Durante la lixiviación, la temperatura de las columnas se controló a 50 °C usando una camisa de calentamiento y la columna se aireó a 0,102 Nm³/h/tonelada de mineral. La columna se inoculó con microorganismos oxidantes del hierro ferroso y oxidantes del azufre y la solución de irrigación, que inicialmente contenía 5 g/l de hierro férrico como sulfato férrico, se bombeó a la parte superior de la columna a través de goteros, a 10 l/h/m², y se recuperó en la base de la columna.

El pH de la solución de lixiviación recuperada se ajustó al pH teórico de 1,2 con ácido sulfúrico si fue necesario antes de volver a reciclarla a la parte superior de la columna. Se tomaron muestras de solución con regularidad para el análisis de sus concentraciones de metales y sulfatos.

La solución de irrigación tenía una concentración de sulfato de aproximadamente 20 g/l al comienzo de la lixiviación. Si la concentración de sulfato en solución superaba los 120 g/l, debido a la adición de ácido sulfúrico y a la oxidación de los minerales de sulfuro, la solución se diluía para mantener un máximo de 120 g/l de sulfato.

Si la concentración de cobre en solución superaba los 8 g/l, debido a la lixiviación del cobre, la solución se sometía a un intercambio de iones para retirar el cobre y reducir la concentración de cobre en la solución para mantenerla en menos de 8 g/l.

Los ensayos en columna se sometieron a lixiviación durante 350 días. Una vez completada la lixiviación, las columnas se aclaron primero con ácido sulfúrico diluido y después con agua para retirar los metales disueltos y el sulfato contenidos en la solución de lixiviación arrastrada. A continuación, las columnas se vaciaron y los sólidos se secaron y se sometieron a ensayo junto con la solución de lixiviación final. Se realizaron balances de masa y la extracción de cobre se comunicó sobre la base del ensayo de cabeza calculada de cobre.

La Figura 2 es un gráfico que representa la extracción de cobre contra el tiempo de lixiviación para los tres ensayos en columna y la Tabla 2 resume las extracciones de minerales de cobre y sulfuro logradas.

Tabla 2: Resultados de extracción de los ensayos en columna.

Parámetro	Mineral	Mineral + pirita de grado museístico	Mineral + concentrado de pirita
Contenido de pirita, %	0,86	4,0	4,0
Contenido de plata, g Ag/kg CuFeS ₂	0,17	0,16	0,20
Extracción de cobre, %			
- Total	59,7	71,2	74,1
- A partir de la fracción de -150 µm	87,1	90,2	92,0
Extracción de calcopirita, %	63,2	62,0	70,5
Extracción de calcosina, %	-	-	79,0
Extracción de covelita, %	57,7	64,9	66,8
Extracción de bornita, %	89,7	91,6	93,8
Extracción de nukundamita, %	44,2	78,4	88,1
Extracción de pirita, %	50,0	90,2	89,4

El efecto beneficioso de aumentar el mineral con pirita en la extracción de cobre es claramente evidente en la Figura 2 y la Tabla 2.

La extracción de cobre se incrementó en un 11,5 % y un 14,4 % mediante la adición de pirita de grado museístico y concentrado de pirita, respectivamente. Se cree que la mayor extracción de cobre es atribuible a la mayor disponibilidad de hierro férrico proporcionada por la oxidación y lixiviación de la pirita añadida, que reaccionó rápidamente debido a su fino tamaño de partícula (P₁₀₀ de 150 µm). Esto es evidente a partir de los resultados de extracción de pirita que se muestran en la Tabla 2. La extracción de pirita del mineral fue solo del 50,0 %, mientras que la extracción de pirita del mineral aumentado con la pirita de grado museístico y el concentrado de pirita fue muy superior, alcanzando el 90,2 % y el 89,4 %, respectivamente.

Notablemente, la extracción de cobre fue muy alta a partir de la fracción de partículas finas de menos 150 µm en los tres ensayos; del 87,1 % en el ensayo con el mineral, del 90,2 % en el ensayo con el mineral aumentado con pirita de grado museístico y del 92,0 % en el ensayo con el mineral aumentado con concentrado de pirita. Los resultados demuestran

que se logró una extracción muy alta de cobre a partir de los minerales de cobre contenidos en las partículas finas del mineral, así como de los minerales de cobre de los dos aumentos de pirita, los cuales tenían un tamaño de partícula P₁₀₀ de menos de 150 µm. Se cree que el contenido natural de plata de las muestras de alimentación en columna, expresado en la Tabla 2 como g Ag/kg CuFeS₂, tuvo un efecto catalítico beneficioso y mejoró la recuperación de cobre a partir de calcopirita (como se muestra en la solicitud internacional PCT/AU2018/050316 (WO 2018/184071) a nombre del solicitante), particularmente a partir de calcopirita en las fracciones de partículas finas.

Por lo tanto, la invención proporciona un medio para lograr una extracción de cobre muy alta a partir de los minerales de cobre contenidos en el aumento de pirita, así como una extracción de cobre alta a partir de los minerales de cobre contenidos en un mineral.

Ejemplo 2

El propósito del Ejemplo 2 era mostrar la eficacia de retirar la pirita de una suspensión acuosa que contenía pirita producida en un circuito de flotación en una planta de procesamiento de minerales.

La Figura 3 es un diagrama de flujo de una realización de un circuito 23 de flotación para una planta de procesamiento de minerales según la invención.

La planta de procesamiento de minerales puede incluir cualquier circuito anterior adecuado de comminución y la posterior recuperación y almacenamiento y/o tratamiento de relaves.

El circuito 22 de flotación mostrada en la Figura 3 incluye una célula 25 desbastadora/recuperadora y una célula 27 de limpiador de concentrado. Estas pueden ser células estándar desbastadoras/recuperadoras y de limpiador de concentrado. Estas pueden ser células existentes en una planta de procesamiento de minerales. Pueden ser células de una planta de nueva construcción.

El circuito 22 de flotación mostrada en la Figura 3 también incluye una célula 29 de flotación de pirita del tipo descrito anteriormente en relación con la Figura 1, teniendo en cuenta que la Figura 1 incluye dos células 18, 19 y la Figura 2 muestra una sola célula 29. Cabe señalar que la invención se extiende a cualquier número adecuado de células de flotación de pirita, con las opciones 16, 17 de separación por tamaño y retrituración y otras opciones para procesar un material de alimentación para las células, por ejemplo, como se ilustra en la Figura 1, según sea necesario.

Durante el uso, la alimentación 31 de molino se transfiere a la célula 25 desbastadora/recuperadora, y la célula produce un flujo 33 de concentrado y un primer flujo 35 de relaves. La alimentación 31 de molino puede ser cualquier alimentación molino adecuada, producida, por ejemplo, mediante combinaciones de etapas de molienda y trituración y separación por tamaño, que pueden ser circuitos de comminución existentes en una planta de procesamiento de minerales o circuitos diseñados específicamente en una planta de nueva construcción.

El primer flujo 35 de relaves se transfiere a una ubicación de depósito 37. Puede ser una balsa de relaves u otras opciones de tratamiento de relaves.

El flujo 33 de concentrado de la célula 25 desbastadora/recuperadora se transfiere a la célula 27 de limpiador de concentrado, y la célula produce un flujo 39 de concentrado de planta y un segundo flujo 41 de relaves.

El flujo 39 de concentrado de planta de la célula 27 de limpiador de concentrado se transfiere para la recuperación de cobre y otros metales, tales como el molibdeno. Las opciones de recuperación pueden ser cualquier opción adecuada.

El segundo flujo 41 de relaves de la célula de limpiador de concentrado 27 se transfiere a la célula 29 de flotación de pirita, y la célula produce un flujo 43 de concentrado que contiene pirita y un tercer flujo 45 de relaves.

Los flujos de relaves primero y tercero 35, 45 y, opcionalmente, una parte del segundo flujo 41 de relaves, se transfieren a la ubicación de depósito, tal como el almacenamiento de relaves u otras opciones de tratamiento de relaves.

El flujo 43 de concentrado que contiene pirita se transfiere para su procesamiento adicional, tal como la aglomeración, y su uso en el circuito de lixiviación en pila descrito anteriormente, según muestra la Figura 1.

El solicitante llevó a cabo ensayos de flotación a gran escala en una muestra de relaves de recuperación/limpiador, es decir, el segundo flujo de relaves, en la célula de flotación de pirita mostrada en la Figura 3. Los resultados se describen a continuación.

La Tabla 3 resume la composición del concentrado de pirita obtenido de una alimentación de relaves de recuperación/limpiador, es decir, el segundo flujo de relaves, en la célula de flotación de pirita.

La tabla muestra la eficacia de la recuperación de pirita (y minerales de cobre, lo cual es una ventaja considerable) en el flujo de concentrado de pirita (véanse las filas 1-10) de los relaves mediante flotación.

El proceso produjo un concentrado de pirita con una ley del 83 % de pirita, 2,2 % de Cu y colas de desbastado/recuperación con una ley de pirita inferior al 0,8 % de pirita.

- 5 Tabla 3: Mineralogía en masa de QEMSCAN de una muestra de colas de recuperación y limpiador (el segundo flujo 41 de relaves) y del concentrado de pirita de la célula 29 de flotación de pirita

	Producto	Colas de recup. y limp.	Conc. de pirita
	Mineral	%	%
10	Calcosina/digenita	0,04	0,30
15	Covelita	0,01	0,08
20	Óxidos de Cu	0,01	0,01
25	Calcopirita	0,16	1,42
30	Bornita	0,08	1,30
35	Arseniueros de Cu	0,01	0,03
40	Nukundamita	*-	0,20
45	Otros minerales de Cu	0,13	0,31
50	Arcillas de Cu	0,00	0,00
55	Pirita	8,63	83,0
60	Esfalerita	-	0,02
65	Azufre	0,03	0,16
	Molibdenita	0,27	1,27
	Otros sulfuros	0,07	0,24
	Cuarzo	45,2	5,82
	Feldespato K	20,2	1,10
	Moscovita	2,27	0,17
	Feldespato plagioclasa	1,85	0,03
	Escolecita	0,01	-
	Biotita/flogopita	8,71	0,91
	Clorito_(K)	0,05	0,01
	Cloritos	0,81	0,05
	Talco	0,54	1,32
	Granate	0,40	-
	Epidota	0,07	-
	Anfíbol	1,28	0,18
	Piroxeno (diópsido)	0,21	0,02
	Andalucita	-	-
	Caolinita (arcilla)	1,40	0,12
	Pirofilita	0,02	-
	Esmectita	2,25	0,08
	Esfena	0,05	-
	FeOx/hidrox.	0,30	0,08
	Diásporo	0,01	-
	Carbonatos	1,15	0,07
	Siderita	-	-
	Jarosita	-	-
	Alunita	0,07	0,05

Circón	0,03	-
Rutilo/Anatasa	0,27	0,15
Fosfatos	0,66	0,08
Sulfato de Ca	0,03	0,02
Otros silicatos	0,75	0,20
Otros	1,95	1,38
Σ Arcilla	3,67	0,20
Σ Skarn	3,66	1,66

La Tabla 4 proporciona un resumen de los resultados clave de los ensayos de flotación de pirita a gran escala y muestra que el 78 % en peso de la pirita contenida originalmente en la muestra de relaves se recuperó en el concentrado de pirita.

Tabla 4: Balance de pirita en los ensayos de flotación

		Balance de pirita combinado T n.º 4 - T n.º 7			
		kg	% en peso	% de pirita	% dist. pirita
Combinación de concentrado de desbastado (RO) + recuperación		138,7	6,76	45,8	78,1
Colas de recuperación		1912	93,24	0,9	21,9
Cabeza calculada		2051	100	4	100

Una muestra extraída de la alimentación de flotación de pirita, es decir, el segundo flujo 41 de relaves, y de las colas de las células de flotación de pirita, es decir, el tercer flujo 45 de relaves, se sometió a ensayos de conteo ácido/base (ABA). En la Tabla 5, se muestra un resumen de los resultados.

Tabla 5: Ensayos ABA en colas y alimentación de flotación de pirita

	%S=Azufre	%C en CO ₃	PA calc.	PN calc.	PNN	' Relación
Alimentación de flotación de pirita	1,2	0,23	33	16	-17	0,48
Colas de flotación de pirita	0,12	0,24	2,8	18	15,2	6,42
<i>Unidades de PA y PN: toneladas equivalentes de carbonato de calcio por cada 1000 toneladas de sólidos.</i>						

Los resultados del ABA indican una reducción en la cantidad de pirita que llega a las colas (PA inferior), es decir, flujos de relaves segundo y tercero 41, 45. Un PNN (potencial neto de neutralización) negativo indica que la alimentación de la célula de flotación de pirita, es decir, el segundo flujo 41 de relaves, es un generador neto de ácido, y una relación superior a 1 (6,42) para las colas de las células de flotación de pirita, es decir, el tercer flujo 45 de relaves, indica que el flujo inerte (es decir, las colas de flotación) se puede usar como material de cobertura/relleno de suelos.

Resulta evidente de lo anterior que el circuito de flotación mostrado en la Figura 3 es un circuito eficaz para producir un flujo de concentrado de pirita, es decir, una suspensión acuosa que contiene pirita que se puede usar, por ejemplo, en la instalación de lixiviación en pila descrita anteriormente en relación con la Figura 1.

Se pueden realizar muchas modificaciones al diagrama de flujo de la Figura 1 sin apartarse del espíritu y el alcance de la invención.

A manera de ejemplo, si bien la realización incluye una etapa de "ciclón" 16, la invención se extiende al uso de cualquier etapa adecuada de separación por tamaño.

Además, si bien la realización incluye las etapas 1-3 para procesar la roca estéril para formar el material que contiene sulfuro de cobre que es una alimentación para la etapa de aglomeración 4, la invención no se limita a esta combinación de etapas y la roca estéril se puede procesar en cualquier etapa adecuada para producir un material de alimentación adecuado para la etapa de aglomeración 4.

Además, si bien la realización se describe en el contexto de la recuperación de cobre, cabe señalar que la invención no se limita al cobre y se extiende a la recuperación de metales tales como níquel o zinc o cobalto a partir de roca estéril que contiene al menos uno de estos metales en un material que contiene sulfuros metálicos.

- 5 Además, si bien la realización se centra en los relaves de las plantas de procesamiento húmedo de minerales que contienen sulfuro de cobre, los métodos descritos anteriormente también se extienden a los relaves obtenidos del procesamiento de minerales que contienen otros metales, tales como cobalto, níquel y zinc.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

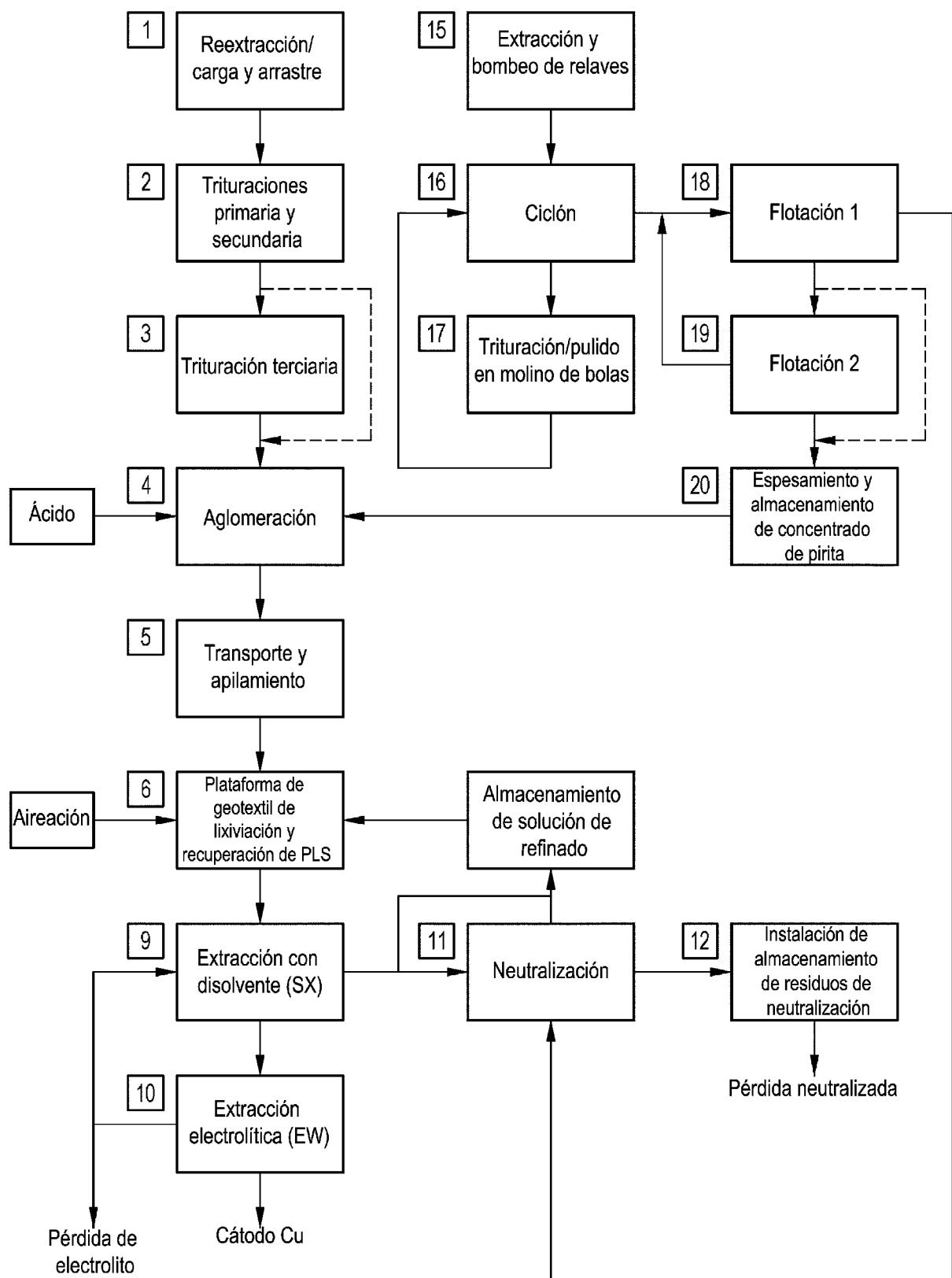
65

REIVINDICACIONES

1. Un método para retirar el cobre de un material que contiene cobre de baja ley que tiene minerales de sulfuro de cobre que comprende:
 - 5 (a)obtener una suspensión acuosa que contiene pirita de una balsa de relaves o un flujo de relaves de una planta de procesamiento de minerales;
 - (b)retirar la pirita de la suspensión acuosa que contiene pirita haciendo flotar partículas que contienen pirita y formar (i) un flujo inerte y (ii) un material que contiene pirita que incluye partículas que contienen pirita;
 - 10 (c)mezclar un material que contiene cobre de baja ley que tiene minerales de sulfuro de cobre con el material que contiene pirita y formar aglomerados, y
 - (d)lixiviar el cobre del material que contiene cobre en los aglomerados de la etapa (c) con un licor de lixiviación y microbios,
 - 15 en donde la pirita del material que contiene pirita genera ácido y calor que facilitan la lixiviación del cobre del material que contiene cobre, y
en donde los microbios oxidan el hierro ferroso a hierro férrico.
2. El método definido en la reivindicación 1, en donde la etapa de retirada (b) de pirita incluye una etapa de separación por tamaño que separa las partículas más grandes de la suspensión acuosa que contiene pirita antes de retirar la pirita de la suspensión acuosa que contiene pirita.
3. El método definido en la reivindicación 2, en donde la etapa de retirada (b) de pirita incluye reducir el tamaño de las partículas más grandes en un circuito de reducción de tamaño y devolver las partículas de tamaño reducido a la etapa de separación por tamaño.
4. El método definido en la reivindicación 3, en donde la etapa de retirada (b) de pirita incluye seleccionar las condiciones de operación para que las partículas de pirita del material que contiene pirita tengan una distribución de tamaño de partículas requerida para la etapa de lixiviación (d).
5. El método definido en la reivindicación 4, en donde las partículas de pirita del material que contiene pirita tienen un tamaño de partícula de P_{80} de ≤ 1 mm.
6. El método definido en la reivindicación 4, en donde las partículas de pirita del material que contiene pirita tienen un tamaño de partícula de P_{80} de ≤ 250 mm.
7. El método definido en la reivindicación 1, en donde la etapa de retirada (b) de pirita incluye espesar y/o filtrar el material que contiene pirita y formar un concentrado que contiene pirita.
8. El método definido en la reivindicación 1 incluye el uso del flujo inerte como fuente de agua en las plantas de procesamiento para recuperar metal del material que contiene cobre.
9. El método definido en la reivindicación 1, en donde la pirita representa el 1 - 10 % en peso de la masa total del material que contiene cobre y del material que contiene pirita.
- 45 10. El método definido en la reivindicación 1, en donde la etapa de lixiviación (d) incluye:
 - i.lixiviación en pila de cobre proveniente de una pila de aglomerados y producir un licor de lixiviación cargado que contiene cobre en solución; y
 - 50 ii.recuperación de cobre del licor de lixiviación cargado.
11. El método definido en la reivindicación 10, en donde el material que contiene cobre de baja ley incluye roca.
12. El método definido en la reivindicación 1, en donde los microbios son bacterias y arqueas.
- 55 13. El método de la reivindicación 1, en donde el flujo inerte es una fuente de agua para recuperar metal del material que contiene cobre.

60

65

**Figura 1**

Representación de la extracción de cobre en ensayos en columna

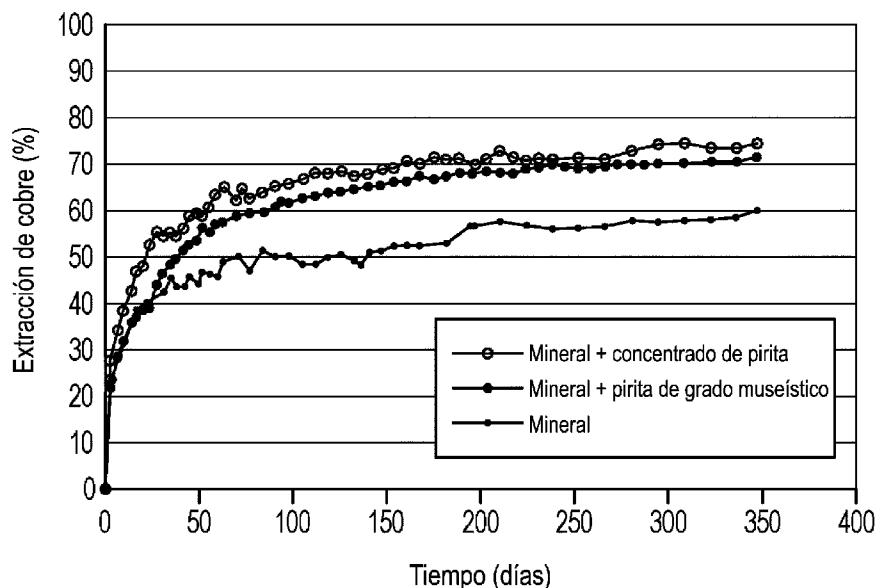


Figura 2

Diagrama de flujo de molienda y flotación de pirita

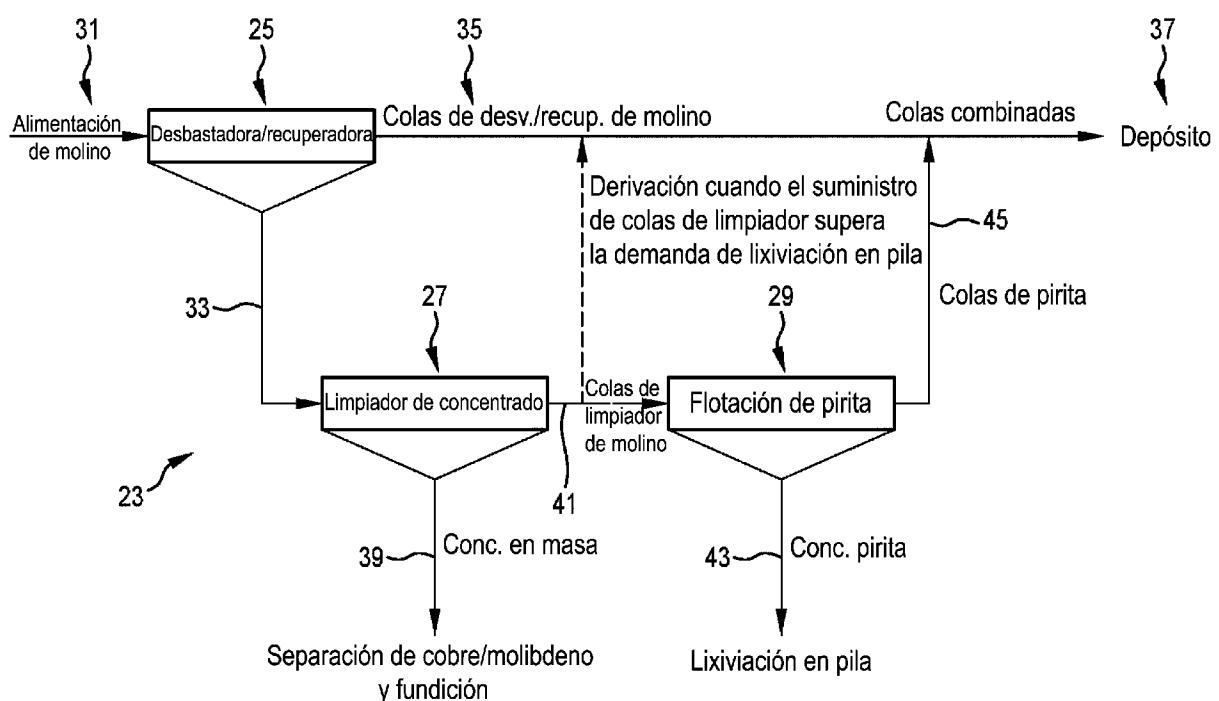


Figura 3