

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 531 624**

51 Int. Cl.:

C22B 15/00 (2006.01)

C22B 3/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.02.2007 E 07704810 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.12.2014 EP 1984529**

54 Título: **Método para recuperar cobre de una mena de sulfuro de cobre**

30 Prioridad:

17.02.2006 FI 20060150

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

18.03.2015

73 Titular/es:

**OUTOTEC (FINLAND) OY (100.0%)
Rauhalanpuisto 9
02230 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**HULTHOLM, STIG-ERIK;
ROSENBACK, LEIF y
HAAPALAINEN, MIKA**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 531 624 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 para recuperar cobre de una mena de sulfuro de cobre

Campo de la invención

5 La invención se refiere a un método por el que se recupera cobre de una mena de sulfuro de cobre que contiene pirita. Según el método la mena se muele finamente y se lixivia en una disolución que contiene ácido sulfúrico en condiciones atmosféricas por medio de hierro trivalente. Según se lixivia el sulfuro de cobre, el hierro trivalente es reducido a divalente y es oxidado de nuevo a trivalente por medio de oxígeno durante la lixiviación. La lixiviación se lleva a cabo en un reactor cerrado, donde el gas no disuelto que surge de la disolución en la sección superior del reactor es circulado de vuelta a la suspensión de la disolución, sólidos y gas. La lixiviación se realiza en presencia 10 tanto de hierro divalente como trivalente, y preferiblemente con el cobre disuelto actuando como catalizador para promover la lixiviación. Las condiciones se ajustan para que sean tales que la pirita esencialmente no se disuelve.

Antecedentes de la invención

Una porción significativa de las menas que contienen sulfuro de cobre es mena calcopirítica, CuFeS_2 , de la que el método de procesamiento más común después del enriquecimiento es fundición pirometalúrgica - colado anódico - 15 purificación electrolítica. Hoy en día sin embargo hay interés también en el procesamiento hidrometalúrgico de menas de sulfuro de cobre, por el cual la primera etapa de tratamiento en sí es también comúnmente la formación de un concentrado de flotación, después de lo cual tiene lugar usualmente al menos una etapa de lixiviación del concentrado en condiciones de autoclave. La otra aparición principal del sulfuro de cobre es la calcocita, Cu_2S , que se procesa principalmente de la misma manera que la calcopirita. La calcopirita y la calcocita aparecen generalmente en la misma mena, y a menudo la cantidad de calcopirita es predominante. 20

La lixiviación de minerales que contienen calcopirita y/o calcocita con la ayuda de hierro trivalente en una disolución que contiene ácido sulfúrico se describe p.ej. en las publicaciones de patente internacionales WO 2005/042790 y 2005/005672. En ambos casos la oxidación del hierro divalente formado en la lixiviación a trivalente se realiza en condiciones de autoclave, aunque al menos parte de la lixiviación del concentrado podría ser realizada en 25 condiciones atmosféricas. La disolución de sulfato de cobre formada en la lixiviación es enviada a recuperación de cobre convencional.

Un método para la recuperación hidrometalúrgica de cobre a partir de calcopirita y otros sulfuros se describe en la publicación de patente de EE.UU. 4.115.221. En este método el mineral de sulfuro se muele hasta una finura donde el tamaño de partícula es un máximo de un micrómetro. Los sólidos sulfúricos son lixiviados en una disolución ácida, 30 en la que la cantidad de iones férricos es estequiométricamente suficiente para oxidar el cobre contenido en el material de sulfuro de cobre. Parte del hierro es retirado de la disolución de sulfato de cobre precipitando el sulfato ferroso de ella, después de lo cual la disolución es enviada a electrólisis del cobre. La disolución que sale de la electrólisis, que es diluida en relación al cobre, es enviada a una etapa independiente, en la que el hierro ferroso aún en disolución es oxidado a trivalente antes de enviar la disolución de vuelta a la lixiviación de sulfuro. En el método, 35 la lixiviación y la formación de hierro trivalente usado en la lixiviación tienen lugar en etapas diferentes.

La patente europea EP 815.270 (= WO 09/29439) describe un método para lixiviar minerales sulfúricos, donde el mineral también contiene hierro. Según el método, el mineral se muele hasta una finura donde el P80 es 20 micrómetros o menos. La lixiviación tiene lugar por medio de hierro férrico y ácido sulfúrico en un reactor abierto, y se alimenta oxígeno al reactor para oxidar el hierro ferroso formado en la lixiviación del sulfuro de nuevo a hierro férrico. Todos los ejemplos en la publicación describen el tratamiento del concentrado de flotación. La disolución de sulfato de cobre formada en la lixiviación es enviada a extracción convencional y electrodeposición. 40

Se considera que el inconveniente de los dos últimos métodos atmosféricos descritos anteriormente es el hecho de que, para que la lixiviación tenga éxito, el mineral tiene que ser molido muy fino, lo que consume energía y eleva por tanto los costes de molienda. Además, se puede decir del último método que con la oxidación en un reactor abierto 45 tiene que ser alimentado un exceso de oxígeno, porque no puede ser llevado todo de vuelta a la circulación.

Propósito de la invención

El propósito de la invención es eliminar las desventajas de los métodos presentados anteriormente. Se alimenta una mena que lleva sulfuro de cobre y que contiene pirita a la lixiviación en una forma considerablemente más basta que la descrita anteriormente, ahorrando de este modo costes de molienda. La lixiviación de la mena y la oxidación del 50 hierro ferroso a hierro férrico tiene lugar con la ayuda de oxígeno en la misma etapa en reactores cerrados en condiciones atmosféricas, con lo que la eficacia del oxígeno se hace más alta que en un reactor abierto. Se usa una disolución ácida que contiene hierro para la lixiviación de la mena, que además de hierro ferroso y férrico también incluye cobre, que actúa como catalizador para promover la lixiviación.

Compendio de la invención

55 Los rasgos esenciales de la invención se harán evidentes en las reivindicaciones adjuntas.

La invención se refiere a un método para lixiviar cobre de una mena de sulfuro de cobre que contiene pirita, por el que una mena finamente molida es lixiviada en una disolución que contiene ácido sulfúrico y hierro en una única etapa. El tamaño de grano de la mena es del orden de 95-100% de 50 a 150 μ . Se alimenta oxígeno a la etapa de lixiviación, y la lixiviación se realiza en un reactor cerrado en condiciones atmosféricas con una disolución que tiene una concentración de hierro de alrededor de 20-50 g/l, de la que la cantidad de ión férrico es al menos 10 g/l y la cantidad de cobre en el inicio de la lixiviación es 8-12 g/l.

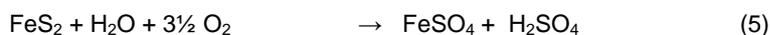
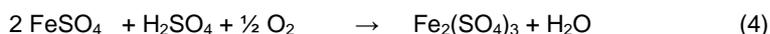
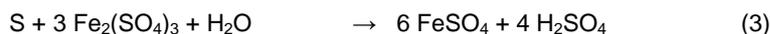
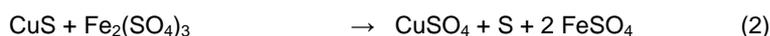
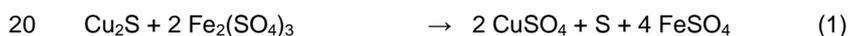
Lista de dibujos

Se muestra un diagrama de flujo del método acorde con la invención en la Figura 1.

Descripción detallada de la invención

El método acorde con la invención es particularmente adecuado para la lixiviación de una mena de sulfuro de cobre-pirita de tipo calcocita, aunque por supuesto también puede ser adaptado para la lixiviación de otras menas de sulfuro. El método se describe más adelante con referencia a la Figura 1. El propósito en el método es lixiviar mena de sulfuro en particular sin pretratamiento de enriquecimiento. Las condiciones de la etapa de lixiviación 1 se ajustan para que sean tales que se disuelva una parte tan pequeña como sea posible de la pirita contenida en la mena. La mena se muele para la lixiviación hasta un tamaño de grano de 95-100 % de 50 a 150 micrómetros para que contenga tan poco como sea posible de las fracciones más finas. La mena molida es alimentada al primer reactor de lixiviación. El número de reactores en serie en la etapa de lixiviación puede variar según la necesidad, pero tanto la lixiviación de la mena como la oxidación del hierro ferroso a hierro férrico tienen lugar durante la misma etapa.

Se producen típicamente las siguientes reacciones en la lixiviación de la mena de sulfuro de cobre:



Se usa una disolución para lixiviar mena de sulfuro de cobre con una concentración de ácido sulfúrico de al menos 20 g/l, preferiblemente 70-95 g/l. El hierro total en disolución es 20-70 g/l, donde la cantidad de hierro trivalente es al menos 10 g/l, la relación $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ se ajusta preferiblemente a la región de 0,5-1,2 y la cantidad de cobre disuelto alrededor de 8-12 g/l en el inicio de la lixiviación. Preferiblemente la disolución es refinada de la etapa de extracción, a partir de la cual la mayoría del cobre ha sido retirada. Cuando la disolución usada en la lixiviación es del tipo descrito anteriormente, se ha encontrado que las reacciones 1, 2 y 4 proceden casi al 100%, pero la reacción 3 sólo alrededor de 5% y la reacción 5 (disolución de la pirita) alrededor de 3%. Como puede verse a partir de las reacciones anteriores, el ácido sulfúrico es generado sólo en las reacciones 3 y 5 y todo el resto del azufre es recuperado como azufre elemental.

Cuando está presente cobre en la disolución usada para la lixiviación de la mena, éste ayuda a la regulación del potencial de oxidación-reducción de la lixiviación. Obviamente, la concentración de cobre de la disolución aumenta según procede la lixiviación, porque el propósito es lixiviar el cobre en la mena, pero generalmente en la lixiviación acorde con la técnica anterior la concentración de cobre del refinado es baja, en la región de menos que 2 g/l.

El potencial de lixiviación se ajusta para que sea 450-550 mV frente al electrodo de Ag/AgCl en el final de la lixiviación. La relativamente alta concentración de hierro además de la concentración de cobre facilita el ajuste del nivel de potencial mencionado anteriormente. El ajuste del potencial también facilita la limitación de la disolución de la pirita, que consume mucho oxígeno y aumenta la necesidad de neutralización.

La lixiviación de la mena de sulfuro de cobre tiene lugar a una temperatura de 85-95°C. La regulación de la temperatura del reactor se realiza indirectamente. Un mecanismo de regulación de la temperatura indirecto es usar deflectores, en los que se hace circular un medio, por ejemplo vapor o fluido refrigerante. Otro método es equipar el reactor con bobinas de calentamiento/enfriamiento. La ventaja de la regulación indirecta es el hecho de que no se introduce exceso de agua en la etapa de lixiviación. Las aguas madres de la lixiviación, es decir el refinado de extracción, son precalentadas a una temperatura de 70-80°C con el calor de reacción generado en la lixiviación.

Típicamente se alimenta oxígeno a todos los reactores de la etapa de lixiviación para oxidar el hierro ferroso a hierro férrico, pero alimentar oxígeno a cada reactor no es sin embargo absolutamente esencial. El oxígeno puede ser alimentado como oxígeno, aire enriquecido en oxígeno o aire. Por medio de un control preciso de la temperatura, la disolución de la pirita también puede ser regulada y por tanto los costes de lixiviación restringidos. Los reactores son equipados con mezcladores eficaces, que mantienen el sólido, líquido y gas en suspensión. La mezcla eficaz mantenida en los reactores permite la alimentación de un sólido bastante basto en la etapa de lixiviación. El gas oxidante es preferiblemente alimentado por debajo del elemento mezclador, desde donde el mezclador lo aspira

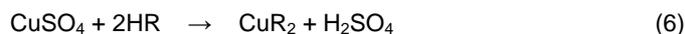
hacia la suspensión. El elemento mezclador está compuesto preferiblemente de dos mezcladores de cuchilla situados en el mismo eje, que están conformados de una manera apropiada para el propósito. La velocidad de las puntas del mezclador se ajusta para que sea menos que 5 m/s, para que las cuchillas del mezclador fundamentalmente no se desgasten.

5 Los reactores son equipados con una cubierta para que el gas que se acumula por encima de la suspensión puedan ser circulados de vuelta a la suspensión con la ayuda del mezclador de cuchillas superior, y sólo la cantidad equivalente a la cantidad de gases distintos al oxígeno en el gas es retirada de la sección superior del reactor. Los reactores no son sin embargo autoclaves, sino que actúan a presión atmosférica. La suspensión fluye de un reactor a otro como sobreflujo.

10 La disolución formada en la lixiviación, que contiene sulfato de cobre, conocida como PLS (Disolución de Lixiviación Cargada), es enviada a separación de sólidos y enfriamiento. La separación de sólidos puede ser llevada a cabo por ejemplo en dos etapas tales como espesamiento y filtración, pero en la ilustración, por razón de simplicidad, se representa como una única etapa. El infraflujo de la separación 2 consiste en la ganga de la mena (silicatos), mena sin disolver tal como pirita, yeso y un poco de azufre elemental que es generado en las reacciones. El sobreflujo de la separación 2 es disolución de sulfato de cobre, con una concentración de cobre de alrededor de 20-50 g/l, y en la que hay aún presente aproximadamente 20-70 g/l de hierro, parcialmente en forma ferrosa y férrica, con lo que la concentración de hierro férrico es al menos 10 g/l. La concentración de ácido sulfúrico de la disolución es del orden de 18-22 g/l.

20 La disolución de sulfato de cobre es enviada al enfriamiento 3, donde la disolución es enfriada, para que su temperatura sea adecuada para la extracción. La mena generalmente contiene siempre también una pequeña cantidad de calcio y arsénico, y ahora por medio de enfriamiento, el yeso y arseniato férrico son precipitados de la disolución, para que no precipiten durante la extracción en la primera celda de extracción.

25 La disolución de sulfato de cobre es enviada a extracción líquido-líquido, que se realiza en dos etapas de acuerdo con la invención. El hecho de que la concentración de cobre del refinado que sale de la primera etapa de extracción puede quedar más alta que la normal, por lo que el cobre contenido en el refinado actúa como catalizador para la lixiviación, puede ser considerado una ventaja de la extracción de dos fases. Otra ventaja es el hecho de que, en conexión con la segunda etapa de extracción, las sustancias disueltas de la mena y/o dañinas para la lixiviación y la extracción pueden ser retiradas del refinado sin grandes pérdidas de cobre. Cualquier extractante de cobre conocido, cualquiera que fuera, es adecuado como extractante, diluido en un disolvente adecuado tal como queroseno. Es también beneficioso para el método que la concentración de extractante en la disolución de extracción se ajuste para que sea alto, en la región de 35-45%. El paso de la disolución de extracción se representa en la ilustración por una línea discontinua, con lo que la disolución que entra en la extracción, BO (orgánico no cargado), se muestra por una línea discontinua y de puntos y la disolución LO (orgánico cargado) que contiene cobre que sale de la extracción se representa por una línea de puntos. En la primera etapa 4 de la extracción, 65-75% del contenido de cobre de la PLS es extraído en la disolución de extracción, después de lo cual la concentración de cobre de la disolución acuosa a ser retirada de la extracción, es decir, el refinado, permanece en 8-12 g/l. Como la concentración de cobre del refinado ha caído, su concentración de ácido sulfúrico ha subido de acuerdo con la siguiente reacción:



40 En la reacción, R significa la parte hidrocarburo del extractante, que forma un complejo con el cobre en la disolución orgánica, y la parte de ión hidrógeno del extractante forma ácido sulfúrico en la disolución acuosa con el sulfato.

45 La mayoría, es decir, más del 90% del refinado es enviado de vuelta a la lixiviación de mena 1, pero una pequeña parte, en la región de 3-8%, es enviada a la segunda etapa de extracción 5. Esta parte es ajustada según los requisitos para que la concentración de hierro del refinado no suba por encima de 70 g/l o que su contenido de impurezas tal como su contenido de cinc no suba demasiado. El refinado a ser enviado a la segunda etapa de extracción es neutralizado en la etapa de neutralización 6 antes de la etapa de extracción por medio de un agente neutralizador adecuado, tal como cal o piedra caliza. Antes de la neutralización la concentración de ácido sulfúrico de la disolución es alrededor de 60-70 g/l y es neutralizada hasta un valor de pH de 1,6-1,8, para que la disolución sea adecuada para la extracción. En la segunda etapa de extracción, el cobre es retirado de la disolución hasta que la concentración es alrededor de 0,5 g/l o incluso más pequeña. La disolución de refinado II de la segunda etapa de extracción es retirada del circuito por medio de la etapa de precipitación 7, después de lo cual el cinc y el hierro que se disolvieron de la mena durante la lixiviación son precipitados de la disolución, es decir, principalmente el hierro de la pirita, por ejemplo por medio de cal. El depósito de la neutralización 6, que es principalmente yeso, es también enviado a la etapa de precipitación. El precipitado y disolución formados son retirados y procesados de una manera apropiada.

55 Las disoluciones LO de ambas etapas de extracción, que contienen una abundancia de cobre, son combinados y enviados a las etapas de lavado y purificación, que se representan juntas como número de referencia 8. La disolución acuosa que sale de la purificación, que es el RE (electrolito rico) a ser enviada a la electrólisis 9, contiene alrededor de 45-50 g/l de cobre. La electrólisis es una electrodeposición convencional. El LE (electrolito pobre) que

sale de la electrólisis es recirculado como la disolución acuosa para purificación.

Ejemplos

Ejemplo 1

- 5 En un ensayo los autores de la invención lixiviaron mena de sulfuro de cobre-pirita que había sido molida hasta una finura de 95% por debajo de 150 micrómetros. La lixiviación se llevó a cabo en cinco reactores dispuestos en serie, y la lixiviación se produjo a una temperatura de 90°C. La lixiviación tuvo lugar por medio de refinado recirculado desde la primera etapa de extracción. El tiempo de lixiviación fue 9 h y durante este tiempo se disolvió el 91,8% del cobre. El análisis de la mena fue como sigue:

Tabla 1

Sustancia	Cantidad, % en peso
Cu	6,09
Fe	30,70
Zn	0,20
As	0,32
S	36,9
Si	10,83
Ca	1,02

10

Los análisis del refinado usado para la lixiviación y el PLS formado en la lixiviación se dan en la Tabla 2.

Tabla 2

Sustancia	Rafinado g/l	PLS g/l
Cu	12,3	40,8
Fe	48,6	48,5
Fe ²⁺	24,8	24,7
Fe ³⁺	23,8	23,8
H ₂ SO ₄	63,8	19,9
Cl ⁻	0,7	0,7

- 15 Los reactores de la etapa de lixiviación fueron equipados con deflectores, donde se envió vapor dentro de los deflectores del primer reactor para calentar el espacio del reactor. El refinado fue calentado antes de ser alimentado a la etapa de lixiviación con calor recuperado en el enfriamiento de la PLS, pero el control de la temperatura final de la disolución se realizó por medio del vapor del deflector. Dado que las reacciones que se producen en la lixiviación son exotérmicas, los reactores posteriores fueron enfriados por medio del fluido refrigerante que fluye en los deflectores. La disolución fluyó de un reactor a otro por gravedad. Los reactores fueron mezclados con la ayuda de mezcladores de doble cuchilla, y el oxígeno requerido para oxidar el hierro fue alimentado por debajo del mezclador.
- 20 El potencial redox de la etapa de lixiviación fue ajustado para que fuera un valor de 400-550 mV frente a electrodo de Ag/AgCl.

La suspensión de la disolución y sólidos a ser retirada del último reactor de lixiviación fue enviada a espesamiento. La composición del infraflujo del espesante fue como sigue: Cu 0,55%, Fe 31,1% y Zn 0,1%.

- 25 El sobreflujo del espesante fue una PLS rica en cobre, que fue enviada a enfriamiento antes de la extracción. La disolución fue enfriada hasta una temperatura por debajo de 38°C, para hacerla adecuada para la extracción. En conexión con el enfriamiento de la disolución, yeso y arseniato férrico fueron precipitados de ella, y fueron retirados de la disolución por medio de espesamiento y filtración.

5 La extracción de la PLS se llevó a cabo en dos etapas, la primera de las cuales comprendía dos celdas de extracción en serie. La concentración de cobre de la PLS fue 40 g/l. La concentración del extractante usado para la disolución de extracción orgánica BO fue 40%. Durante la primera etapa de extracción aproximadamente 70% del cobre en la PLS fue extraído en la disolución orgánica, y la concentración de cobre del refinado restante fue aproximadamente 12 g/l.

10 El refinado de la extracción fue en su mayoría recirculado de vuelta a la lixiviación de la mena, pero aproximadamente 6% de él fue enviado a la preneutralización que precede a la segunda etapa de extracción, que ayuda al control del contenido de hierro y cinc de la disolución que circula en el circuito de lixiviación y extracción. Además del refinado, las aguas de lavado de diversos precipitados fueron enviadas a preneutralización, con lo que la concentración de Cu de la disolución llegó a ser 7,2 g/l. La neutralización de la disolución se llevó a cabo con cal, desde una concentración de H₂SO₄ de 80 g/l hasta un valor de pH de 1,6-1,8. La disolución transparente que resultó de la separación de los sólidos fue enviada a la segunda etapa de extracción, que comprendía una única celda de extracción. La disolución de extracción usada fue la misma disolución de extracción que la de la primera etapa de extracción. En la segunda etapa, se extrajo el 93% del cobre contenido en la disolución acuosa, con lo que la concentración de Cu de la disolución a ser retirada de esta etapa fue sólo 0,5 g/l.

15 Las disoluciones orgánicas ricas en cobre que salen de ambas etapas de extracción fueron combinadas y enviadas a la etapa de purificación y lavado, que consistían en dos celdas purificadoras, una celda de lavado de la disolución de extracción y un tanque de disolución de LO orgánico. Durante la etapa de lavado los cloruros y hierro férrico contenidos en la disolución fueron retirados de la disolución orgánica con un lavado con agua.

20 En las celdas purificadoras el cobre se extrajo de la disolución orgánica en una disolución acuosa, que fue el electrolito pobre LE que sale de la electrodeposición del cobre. La disolución acuosa que sale de la purificación fue un electrolito rico en cobre (RE), que fue enviada a electrólisis.

Ejemplo 2

25 En un ensayo los autores de la invención lixivieron mena de sulfuro de cobre-pirita que había sido molida hasta una finura de 95% por debajo de 150 micrómetros. La lixiviación se llevó a cabo en un reactor a una temperatura de 90°C. El reactor de lixiviación fue equipado con deflectores. El elemento de mezcla fue equipado tanto con un mezclador superior como inferior. El mezclador superior fue un tipo A y el mezclador inferior un tipo GLS. El tiempo de lixiviación fue 8 h. Una disolución de lixiviación sintética correspondía a un refinado de extracción, en el que la relación Fe³⁺/Fe²⁺ se ajustó a un valor de 0,75:1. La disolución fue precalentada antes de ser alimentada al reactor de lixiviación. El contenido de sólidos de la suspensión en el reactor se ajustó a 400 g/l. La cantidad de alimentación de oxígeno en el ensayo fue una constante, 80 ml/min/l (suspensión). Los análisis de la mena molida y la disolución de lixiviación fueron como sigue:

Tabla 3

Sustancia	Mena, % en peso	Concentración de la disolución de lixiviación, g/l
Cu	7,8	10
Fe	34,9	49,8
Fe ³⁺	-	21,4
Fe ²⁺	-	28,4
Zn	0,076	6
As	0,47	-
S	42,7	-
SiO ₂	10,6	-
Ca	0,39	-
H ₂ SO ₄	-	85

35 En este ensayo se disolvió el 93,9% del cobre. Hubo 41,5 g/l de cobre, 49,4 g/l de hierro y 21,1 g/l de ácido sulfúrico en la disolución producto de la lixiviación. Por consiguiente la composición de la disolución producto enfriada a < 38°C es una disolución de alimentación adecuada como tal para el subprocedimiento siguiente, es decir la extracción

del cobre. El análisis de los sólidos separados de la suspensión, el residuo de la lixiviación, después de la lixiviación se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4

Sustancia	Residuo de la lixiviación, % en peso
Cu	0,42
Fe	35,7
Zn	0,06
As	0,45
S	44,4
SiO ₂	11
Ca	0,22

5 Ejemplo 3

En un ensayo una PLS rica en cobre obtenida de lixiviación fue alimentada a un sistema de extracción, que consistía en dos celdas de extracción, un tanque LO de orgánico cargado, una celda de lavado y dos celdas de purificación. El sistema de extracción funciona en el principio de contracorriente. La cantidad de extractante de la fase orgánica fue 45% en volumen. La temperatura de todas las disoluciones diferentes fue 35°C.

- 10 En la extracción el 74% del cobre contenido en la PLS se transfirió a la fase orgánica. Las gotitas de agua fueron retiradas de la fase orgánica cargada en el tanque LO. El hierro férrico fue separado por lavado de la fase orgánica cargada con cobre en la celda de lavado con agua de lavado ácida. En la purificación el cobre fue retirado de la fase orgánica cargada con una disolución de electrolito (LE), formando una disolución de electrolito rica en cobre (RE).
 15 Ambas disoluciones producto del ensayo fueron adecuadas para procesamiento posterior; el refinado como aguas madres para lixiviación y el RE para electrolisis.

Los análisis de la disolución producto de la lixiviación o PLS, la disolución de alimentación de lixiviación o refinado de extracción, disolución de alimentación de la purificación (LE) y disolución producto de la purificación (RE) se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5

Sustancia	PLS, g/l	refinado g/l	LE, g/l	RE, g/l
Cu	34	9	35	47
Fe	53	53	0,19	0,2
Fe ²⁺	37			
Fe ³⁺	15,8			
H ₂ SO ₄	25	61	169	153

20

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para la lixiviación de cobre de una mena de sulfuro de cobre-pirita, por el que la mena finamente molida es enviada a una disolución que contiene ácido sulfúrico y hierro, que es oxidado durante la lixiviación, en donde la mena de sulfuro de cobre es molida hasta un grado de finura de 95-100% a 50-150 μm y enviada a una etapa de lixiviación llevada a cabo en reactor cerrado, que ocurre en condiciones atmosféricas y en la que la lixiviación se lleva a cabo con una disolución, cuya concentración de hierro es alrededor de 20-70 g/l, de la que la cantidad de hierro férrico es al menos 10 g/l, la cantidad de cobre en el inicio de la lixiviación 8-12 g/l y la concentración de H_2SO_4 un mínimo de 20 g/l.
2. Un método según la reivindicación 1, caracterizado por que la temperatura de la etapa de lixiviación es 85-95°C.
- 10 3. Un método según la reivindicación 1, caracterizado por que se alimenta oxígeno a la etapa de lixiviación.
4. Un método según la reivindicación 1, caracterizado por que la relación $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ de la disolución que entra en la lixiviación se ajusta a la región de 0,5-1,2.
5. Un método según la reivindicación 1, caracterizado por que el potencial de oxidación-reducción en el final de la etapa de lixiviación se ajusta para que sea 450-550 mV frente a Ag/AgCl.
- 15 6. Un método según la reivindicación 1, caracterizado por que la disolución acuosa rica en cobre (PLS) que sale de la etapa de lixiviación es enviada a extracción líquido-líquido de dos etapas, en la que el refinado de la primera etapa es recirculado en gran medida de vuelta a la lixiviación de la mena de sulfuro de cobre.
7. Un método según la reivindicación 6, caracterizado por que antes de la extracción líquido-líquido la disolución acuosa rica en cobre se enfría.
- 20 8. Un método según la reivindicación 7, caracterizado por que se retiran yeso y arseniato férrico de la disolución acuosa rica en cobre en conexión con el enfriamiento.
9. Un método según la reivindicación 7, caracterizado por que la capacidad térmica de la disolución acuosa rica en cobre es explotada para calentar la disolución, es decir, el refinado, que entra en la etapa de lixiviación.
- 25 10. Un método según la reivindicación 6, caracterizado por que más del 90% del refinado de la primera etapa de extracción es recirculado a la lixiviación del sulfuro de cobre y el resto es enviado a la segunda etapa de extracción.
11. Un método según la reivindicación 10, caracterizado por que el refinado al ser enviado a la segunda etapa de extracción es sometido a neutralización de su contenido de ácido sulfúrico de 60-70 g/l hasta un valor de pH de 1,6-1,8 para neutralizar el ácido en la disolución.
- 30 12. Un método según la reivindicación 11, caracterizado por que la neutralización se realiza por medio de cal o piedra caliza.
13. Un método según la reivindicación 8 ó 10, caracterizado por que la concentración de cobre del refinado II que sale de la segunda etapa de extracción es alrededor de 0,5 g/l.
- 35 14. Un método según la reivindicación 1, caracterizado por que la etapa de lixiviación de la mena se realiza en varios reactores cerrados conectados en serie, en los que un gas que contiene oxígeno es alimentado por debajo del elemento de mezcla del reactor y donde dichos reactores están equipados con deflectores.
15. Un método según la reivindicación 14, caracterizado por que la temperatura de los reactores es ajustada indirectamente por medio de un agente alimentado dentro de los deflectores.
- 40 16. Un método según la reivindicación 14, caracterizado por que los reactores de la etapa de lixiviación están equipados con un elemento de mezcla, que está compuesto de dos mezcladores situados en el mismo eje a fin de formar una suspensión de sólidos, líquido y gas.

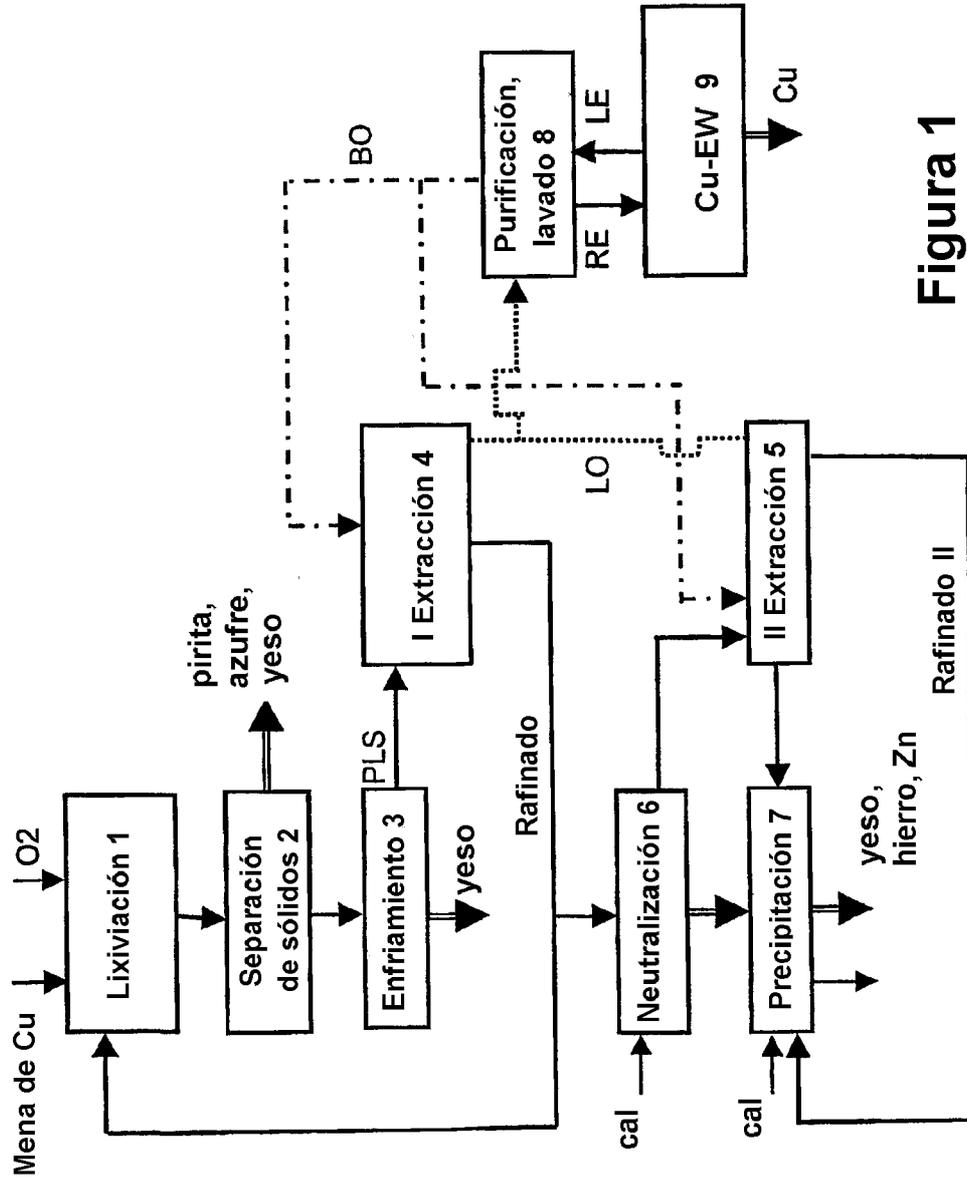


Figura 1