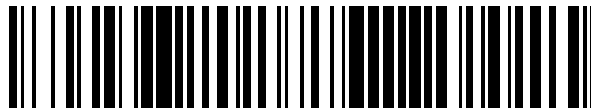


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 540 077**

51 Int. Cl.:

C22B 3/16 (2006.01)

C22B 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.11.2011 E 11805748 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2015 EP 2650392**

54 Título: **Procedimiento para lixiviar óxido de cobre reemplazando ácido sulfúrico por un agente orgánico lixiviante no contaminante**

30 Prioridad:

10.12.2010 CL 13992010

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

08.07.2015

73 Titular/es:

**PROKUMET SPA (100.0%)
Las Urbinas 53, Piso 11
Providencia, Santiago, CL**

72 Inventor/es:

AGHEMIO RODRÍGUEZ, LUIS ALBERTO

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 540 077 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para lixiviar óxido de cobre reemplazando ácido sulfúrico por un agente orgánico lixivante no contaminante.

5

Campo de la invención

La presente invención se refiere a la lixiviación de cobre y, en particular, a un procedimiento hidrometalúrgico para lixiviar minerales de óxido de cobre que permite producir cátodos, láminas o precipitados de cobre que utiliza un agente lixivante orgánico no contaminante.

10

Antecedentes

La lixiviación de cobre en la minería presenta diversas complejidades e inconvenientes, tanto respecto de los procesos empleados como respecto de los efectos que a partir de aquella son generados. Precisamente, la industrialización de este proceso en el ámbito de la minería ha recurrido a la utilización del ácido sulfúrico como agente lixivante, lo cual genera un impacto ambiental particularmente dañino debido a su alto poder contaminante. A su vez, dicho ácido resulta especialmente riesgoso para todos aquellos individuos que deben realizar operaciones y faenas en los que éste es utilizado. Su empleo, asimismo, no permite reutilizar el agua empleada en el proceso, generando con ello costos adicionales y mayor contaminación por desechos. Por otra parte, el método de lixiviación de cobre actualmente empleado en la minería hace imposible una recuperación eficiente del mineral de cobre quedado en las pilas de lixiviación, haciendo de este un procedimiento ineficiente y, conforme a lo señalado, de altos costos asociados. De esta forma, y considerando lo conocido en el estado de la técnica, es posible advertir que la lixiviación de cobre en la minería resulta compleja, costosa, altamente contaminante y con resultados, hasta ahora, ineficientes.

15

20

25

En la actualidad, el cobre continúa experimentado una importante demanda, la cual se estima permanecerá en aumento no sólo debido a los múltiples campos en los que como metal puede ser empleado, sino que a su potencial de utilización para diversos y continuos desarrollos tecnológicos e industriales en áreas como la electrónica, la informática, las comunicaciones, fabricación de cañerías, paneles solares, industria automotriz y transferencia de energía de potencia, entre otros, haciendo de éste uno de los metales mayormente requeridos. De esta forma, contar con procedimientos eficientes para la producción de cobre en cuanto a: reducir costos, no degradar el medio ambiente, brindar mayor seguridad operacional y que logren optimizar su capacidad productiva, resulta primordial para la industria minera y, en definitiva, para la economía mundial. En consideración a lo señalado previamente, a continuación se procederá a enunciar algunos de los procedimientos que, hasta ahora, se han utilizado para lixiviar mineral de cobre:

30

35

- i) Lixiviación con amoníaco
- ii) Lixiviación con tiurea
- iii) Utilización de agua de mar y salitre
- iv) Lixiviación por ácidos
- v) Lixiviación por ácido sulfúrico con agua

40

Diversos factores han incidido en que estos procedimientos no logren alcanzar estándares óptimos de producción y eficiencia, estacando, entre otros, sus elevados costos de implementación, complejidad operacional y alto impacto ambiental.

45

En efecto, el procedimiento de lixiviación con amoniaco, debido a su gran poder contaminante y toxicidad, no ha logrado prosperar con éxito en la industria.

50

La lixiviación con tiurea, un compuesto desarrollado en base a sustancias orgánicas mezcladas con cianuro de sodio - tampoco ha conseguido consolidarse como proceso en la minería ya que resulta ser altamente degradante para el medio ambiente.

55

El procedimiento de lixiviación utilizando agua de mar y salitre, por su parte, no ha logrado ser empleado con éxito debido a la poca pureza del licor de cobre obtenido manifestada por la excesiva formación de cristales de sal.

A su vez, la lixiviación por ácidos, solos o compuestos, por ejemplo, el ácido clorhídrico, ácido nítrico, o mezclado entre ellos, denominado también agua regia, se ha empleado para disolver metales nobles como el oro y la plata, siendo en extremo agresivo, tóxico y de alto costo. Se utiliza sólo a nivel de laboratorio. Finalmente, la lixiviación por ácido sulfúrico (H_2SO_4) con agua (H_2O), corresponde al procedimiento conforme al cual se lleva a cabo casi la totalidad de la lixiviación de cobre en la minería. Este procedimiento, que permite obtener cátodos de cobre a partir del mineral de óxido de cobre, se inicia con el chancado y clasificado del mineral proveniente de la mina, para luego ser trasladado a pilas de lixiviación, previa impregnación del mineral ya chancado y clasificado, pilas que son irrigadas con una solución de ácido sulfúrico, más agua (con una acidez acuosa controlada que se determina dependiendo de la mineralogía característica del yacimiento y que suele tener un pH que varía entre 1,5 y 3,0)

60

65

produciendo así un sulfato de cobre soluble. Dicho ácido lixivia tanto al cobre como también a los otros minerales ocluidos en el mineral de cabeza, llamados impurezas. Una vez que se ha cumplido el tiempo de residencia en las pilas de lixiviación, se obtiene como primer resultado un licor de cobre impuro, con presencia de fierro y otros minerales en suspensión. Este licor de cobre es sometido a una etapa denominada extracción por solventes que permite purificar el licor de cobre y concentrarlo en una etapa acuosa, la que posteriormente es denominada solución rica. Esta solución rica en cobre es llevada a unos estanques de acumulación desde los cuales será bombeada a una planta de Electrodeposición, en la que mediante un proceso electroquímico se depositará cobre metálico (cátodos) luego de un tiempo de residencia preestablecido, consiguiendo con ello un peso adecuado para cosecharlos, lavarlos y comercializarlos como cátodos de cobre de alta pureza. Finalmente, una vez que la pila de lixiviación en dicho procedimiento ha cumplido su ciclo de producción, es desechada.

Pues bien, varios son los problemas que pueden ser advertidos en torno a este procedimiento. En primer lugar, y debido a la utilización de ácido sulfúrico como agente lixiviante, dicho procedimiento resulta altamente tóxico y contaminante. En segundo lugar, el empleo de este ácido exige la implementación de maquinaria, de dispositivos, de insumos y de materiales particularmente resistentes a su acidez y, con ello, de alto valor, acrecentando considerablemente los costos de producción. En tercer lugar, los riesgos de operación son altos y de consecuencias particularmente graves para operarios y trabajadores en caso de accidentes. En cuarto lugar, la etapa de extracción por solventes aumenta los riesgos de accidentes debido a la utilización de un extractante (compuesto por aldoximas y cetoximas, o elementos similares) que, a su vez, es mezclado con parafina (o kerosene), lo que genera la emisión de gases tóxicos e inflamables que crean una permanente peligrosidad en la faena. En efecto, esta sola etapa en sí misma considerada irroga un conjunto de complejidades e inconvenientes relativos a, entre otros: seguridad, altos costos de inversión (vinculados especialmente al extractante utilizado), implementación y capacitación, todo lo cual, como se verá, la presente invención permite omitir. En quinto lugar, el procedimiento actualmente empleado resulta a su vez ineficiente desde el punto de vista productivo debido al alto porcentaje de pérdida de material. Efectivamente, en cuanto a esto, y según lo señalado previamente, una vez que la pila de lixiviación utilizada en el procedimiento cumple su ciclo de producción, es desechada, con lo cual se pierde el mineral de óxido de cobre que quedó en ella. Esta pérdida impide recuperar el cien por ciento de este mineral debido a la falta de penetración del ácido sulfúrico en la roca, la cual no podrá ser remolida debido a la presencia del ácido libre que contiene. En virtud de lo anterior, el mineral descartado de las pilas de lixiviación es llevado a botaderos, lo que implica una pérdida aproximada del 30% del mineral contenido en la pila, mineral dentro del cual, además del cobre insoluble ocluido (cobre sulfuro), existen metales nobles como oro y plata que también pueden ser aprovechados. En sexto lugar, y además de dicha pérdida, el agua utilizada en el procedimiento tampoco es susceptible de ser recuperada debido al acumulamiento del sulfato ferroso como contaminante, por lo que debe ser descartada hacia un tranque de relaves con contenido de ácido sulfúrico libre, más las impurezas. En séptimo lugar, la imposibilidad de reaprovechar estos desechos a los que se ha aludido, conlleva un daño importante al medio ambiente debido al remanente del ácido sulfúrico que queda impregnado en el mineral abandonado. En efecto, y según lo dicho, esta merma, junto con disminuir la productividad del procedimiento, es altamente contaminante y peligrosa debido a su potencial de expansión sobre la población aledaña a través de los vientos, las aguas lluvias y las aguas subterráneas, afectando también los cultivos, la flora y fauna del ecosistema y, en general, todo el medio ambiente. Conforme a lo señalado anteriormente, este es el procedimiento con que actualmente se realiza, casi en su totalidad, la lixiviación de cobre en la minería. Por tanto, el que éste, junto con implicar altos costos de inversión, resulte deficiente productivamente, riesgoso operacionalmente y degradante para el medio ambiente, conlleva problemas considerables para la lixiviación de cobre, en virtud de lo cual, poder contar con un sistema que permita perfeccionar y optimizar lo anterior, alcanza una importancia industrial y económica particularmente relevante.

En el documento HABBACHE N ET AL: "Leaching of copper oxide with different acid solutions", CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL, ELSEVIER SEQUOIA, LAUSANNE, CH, vol. 152, nº 2-3, Octubre 2009 (2009-10-15), páginas 503-508, XP026268719, ISSN: 1385-8947, DOI: 10.1016/J.CEJ.2009.05.020 [recuperado en 2009-05-21], se investigó la disolución de CuO en HCl, H₂SO₄, HNO₃ y soluciones de ácidos cítricos en un reactor discontinuo utilizando unos parámetros que pueden afectar a la tasa de disolución del cobre tal como, la velocidad de agitación, la temperatura y la concentración de ácido. Se descubrió que el 99,95% del cobre se disolvía tras 14 minutos con ácidos inorgánicos a 0,5 M, 25°C y l/s=10 ml/g, mientras que fueron necesarias operaciones de funcionamiento más drásticas para conseguir la misma eficacia de disolución con una solución de ácido cítrico. Los aniones parecen estar implicados en la reacción superficial. Se examinó la cinética de disolución de CuO de acuerdo con un modelo heterogéneo y se descubrió que la velocidad de disolución era controlada en todos los casos por el proceso químico superficial.

La patente US nº 3.490.899 describe un procedimiento mejorado de recuperación de cobre de cementación o que incluye una etapa de preparación de una pulpa de cobre de cementación no magnética antes de una etapa de filtrado y cribado final. El procedimiento da como resultado un cobre de cementación de una pureza mucho mayor que el recuperado en los procedimientos de la técnica anterior.

En consecuencia, y de conformidad con lo conocido en el estado de la técnica, no existe en la actualidad un procedimiento que en el ámbito de la minería permita lixiviar mineral de cobre de modo eficiente, seguro y que, asimismo, no degrade el medio ambiente. En otros términos, los procedimientos conocidos para la lixiviación de

cobre en la minería revelan un conjunto de problemas e inconvenientes que abarcan varios campos críticos, pero cuya solución, en definitiva, resulta posible en virtud de la invención que es objeto de esta solicitud.

Pues bien, la presente invención resuelve todos los inconvenientes anteriormente descritos, la cual contempla un procedimiento único en el que se utiliza un agente lixivante especialmente concebido para la lixiviación de cobre, compuesto por ácido tricarbóxico ($C_6H_8O_7$) en combinación con agua (H_2O), en una proporción tal que logre una acidez que varía entre un pH de 1,0 y 5,0; agente lixivante al cual puede añadirse benzoato de sodio (C_6H_5COONa) o (E211) como agente preservante, el que actúa como inhibidor de la proliferación de microorganismos, variando su adición máxima entre el 0,05% y el 1,00% del peso de la solución especificada.

Conforme a ello, el procedimiento no daña el medio ambiente, produciendo en el proceso de lixiviación un citrato de cobre que, además, no es corrosivo. Esta particularidad resulta especialmente importante puesto que al producir citrato de cobre, el procedimiento permite recuperar el agua que ha sido utilizada en el proceso productivo. Asimismo, mediante este método, se reducen los costos de implementación en las plantas mineras, puesto que los materiales empleados no requerirán tener una resistencia extrema a productos de elevada acidez, tal como sí ocurre al emplear ácido sulfúrico, puesto que el agente lixivante utilizado, así como el citrato de cobre producido, no son corrosivos.

En efecto, dispositivos tales como bombas impulsoras, cañerías de traslado de fluidos, válvulas de corte y control, tinas de contención de electrolitos, ropa y artículos de trabajo (como overoles, gafas o máscaras antigases), estanques acumuladores, pisos de sustentación, cubiertas de techo y estructuras soportantes, entre otros, debían cumplir, hasta ahora, características técnicas altamente exigentes en materia de resistencia acida, conllevando así elevados montos de inversión, todo lo cual se evita y se ahorra gracias al procedimiento de que da cuenta esta solicitud.

Asimismo, este procedimiento implica una mejora relevante en materia de seguridad operacional. Efectivamente, gracias a su diseño y características, tampoco se generan gases tóxicos, conforme a lo cual será posible transitar libremente por todos los lugares de la faena minera. Junto a ello, dicha mejora también se manifiesta en cuanto a la ausencia de riesgo de accidentes por quemaduras acidas que afecte a operadores y trabajadores en general, haciendo de éste, uno de los procedimientos más confiables y seguros en materia de lixiviación de cobre en la minería. A su vez, los elementos, el diseño y las etapas contempladas en el procedimiento objeto de esta solicitud, junto a las particulares cualidades del agente lixivante empleado, hacen posible realizar una lixiviación selectiva para cobre. Esta característica resulta especialmente relevante, ya que al no disolver el hierro, permite prescindir de la etapa de extracción por solventes. En virtud de ello, el procedimiento logra eliminar una de las etapas que, hasta ahora, y según lo señalado anteriormente en esta solicitud, genera algunos de los inconvenientes de mayor envergadura para la minería en materia de lixiviación de cobre, todos los cuales son resueltos por medio de este procedimiento, puesto que el citrato de cobre obtenido, sin presencia de hierro en este estado soluble concentrado, permite eliminar dicha etapa, haciendo con ello posible pasar de forma inmediata, luego de lixiviar, a la etapa de electrodeposición, dando así solución a los problemas descritos y logrando, a su vez, obtener cátodos de cobre metálico de manera más segura y eficiente respecto de todo lo conocido en la industria minera.

A su vez, el procedimiento descrito en la presente solicitud permite alcanzar altos niveles de eficiencia productiva por medio de la recuperación del mineral ya agotado de las pilas de lixiviación a través de una remolienda que consiste en una molienda húmeda en la que se emplea el agente lixivante previamente descrito, lo que hace posible aumentar, en un 30%, o más la producción de cobre soluble y recuperar los metales nobles (oro, plata y platino) así como los sulfuros de cobre. Junto a ello, el procedimiento objeto de esta solicitud hace posible obtener, opcionalmente, y por medio de una etapa posterior a la etapa de recuperación de pilas de lixiviación, precipitado de cobre, lo cual amplía la gama de productos posibles de ser obtenidos por medio de este procedimiento.

Finalmente, y como otra ventaja adicional del procedimiento descrito en esta solicitud, resulta posible, a su vez, recuperar el agua de proceso utilizada, con lo cual se logra prescindir de los tranques de relaves, los que, además de un costo elevado, generan un alto impacto ambiental.

Descripción detallada de la invención

Lo anteriormente expuesto resulta posible a través de la invención objeto de la presente solicitud, que consiste en un procedimiento hidrometalúrgico para lixiviar minerales de óxido de cobre que permite producir cátodos, láminas o precipitado de cobre, que utiliza un agente lixivante orgánico no contaminante que comprende las etapas siguientes:

a) Lixiviación del mineral de óxido de cobre: tras el traslado del mineral desde la mina, el procedimiento contempla la molienda primaria, secundaria y terciaria de dicho mineral, para su clasificación, el que es transportado a una etapa de aglomeración para ser impregnado con una solución acuosa (o lixivante) compuesta por ácido tricarbóxico ($C_6H_8O_7$) en combinación con agua (H_2O), en una mezcla tal que logre una acidez que varía entre un pH de 1,0 y 5,0; a la que puede añadirse benzoato de sodio (C_6H_5COONa) o (E211) como agente preservante, el cual actúa como inhibidor de la proliferación de microorganismos, variando su adición máxima entre el 0,05% y el 1,00%

del peso de la solución singularizada. A continuación, el mineral, ya impregnado, será trasladado y acopiado en pilas - pilas de lixiviación - las que serán irrigadas con la solución acuosa (o lixivante) previamente especificada. Esta irrigación se realiza mediante una adición sistemática de las pilas de lixiviación que consiste en dividir o parcelar las pilas en sectores, los cuales son secuencialmente irrigados con el agente lixivante, lo que permitirá obtener un licor de cobre que, en virtud de las propiedades de dicho lixivante, generará un citrato de cobre. El citrato obtenido, el cual, a su vez, no contiene hierro ni otros contaminantes en estado soluble, es utilizado en conjunto con el agente lixivante para irrigar la pila de lixiviación según lo dicho, por sectores y secuencialmente, lo que permite incrementar la concentración del cobre soluble hasta una concentración aproximada de 50 gramos por litro. Dicha irrigación se extenderá hasta el agotamiento del mineral de la pila de lixiviación, cuyo tiempo de irrigación dependerá de la cinética de lixiviación de cada mineral. De este modo, el resultado obtenido corresponde a un citrato de cobre soluble concentrado y electrodepositable, lo que permite pasar inmediatamente a la etapa de electrodepositación para la producción de cátodos, láminas de cobre u otros productos derivados en base a cobre. En consecuencia, el procedimiento permite asimismo omitir la etapa de extracción por solventes, puesto que, por una parte, el citrato de cobre obtenido carece de hierro (y otros contaminantes), el cual no es disuelto en la etapa de lixiviación, y, por la otra, porque es posible alcanzar niveles de concentración de contenido de cobre soluble adecuados para ser electrodepositados.

b) Electrodeposición: etapa posterior a la anterior y en la cual el citrato de cobre obtenido es conducido y vertido, mediante un flujo controlado, a tinajas de electrodepositación, las que contienen ánodos y cátodos alimentados por un voltaje continuo que varía entre 0,1 y 7,0 Volts, a una densidad de corriente que varía entre 5,0 y 300,0 amperes/metro cuadrado, cuyo tiempo de residencia dependerá del espesor del cátodo a obtener. En consecuencia, el procedimiento permite obtener cátodos o láminas de cobre a partir de citrato de cobre. Asimismo, el electrolito pobre, esto es, aquel que no fue electrodepositado, puede ser también ser utilizado, por vía de recirculación, para irrigar, junto al agente lixivante ya descrito, las pilas de lixiviación, contribuyendo con ello a aumentar la concentración de cobre soluble.

c) Recuperación de pilas de lixiviación: etapa que permite recuperar el mineral ya agotado de las pilas de lixiviación por medio de una segunda molienda, que consiste en una molienda húmeda en la que se emplea el agente lixivante previamente descrito, aplicando una agitación mecánica por un tiempo de residencia controlado, determinado conforme a la cinética de lixiviación de cada mineral. Lo anterior genera una pulpa que permite lixiviar el núcleo de dicho mineral la cual, una vez filtrada, hace posible, por una parte, obtener licor de cobre adicional y, por la otra, recuperar los metales nobles (oro, plata y platino), así como los sulfuros de cobre, que pudieren estar aún contenidos, por medio de procesos de concentración o flotación.

d) Precipitado de cobre: etapa opcional, posterior a la etapa de recuperación de pilas de lixiviación, en la que el citrato de cobre obtenido es conducido y vertido a una piscina de acumulación dentro de la cual se añade hierro +1 en calidad de chatarra limpia. Este elemento actúa como catalizador, atrayendo al ion de cobre soluble, luego de un tiempo de residencia que dependerá tanto de la concentración del citrato de cobre como de la superficie de contacto con el hierro +1, todo lo cual hace posible obtener un cemento o precipitado de cobre de alta pureza (sobre un 75% de ley de cobre).

Ejemplo

Se llevó a cabo una experiencia de lixiviación de acuerdo al procedimiento que es objeto de la presente solicitud, utilizando un mineral de óxido de cobre con las siguientes leyes: Cu Total (1,24%); Cu Ox (1,07%); Au (0,02 g/ton); Ag (13 g/ton); y una granulometría -1/4", obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla N°1. CINÉTICA DE DISOLUCIÓN DE COBRE

Identificación de Muestra	Muestreo (Horas)	Cu en solución analizado (g/L)			Cu en solución (g)			Cu disuelto c/r a Cu de Cabeza (%)		
		pH 1,8	pH 2,0	pH 2,5	pH 1,8	pH 2,0	pH 2,5	pH 1,8	pH 2,0	pH 2,5
M-LAR-2; 0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M-LAR-2; 2 horas	2	3,72	3,77	1,66	8,43	8,49	4,35	69,5	65,8	36,7
M-LAR-2; 4 horas	4	4,27	4,09	1,68	10,05	9,40	4,60	82,9	72,9	43,0
M-LAR-2; 6 horas	6	4,19	4,38	2,26	10,30	10,26	6,32	87,0	79,5	48,0
M-LAR-2; 8 horas	8	4,32	4,37	2,00	11,0	10,45	6,32	90,8	81,1	53,3
M-LAR-2; 24 horas	24	4,24	4,68	2,32	11,2	11,37	6,99	92,8	88,2	59,0
M-LAR-2; 48 horas	48	3,89	4,66	1,82	11,2	11,56	6,99	92,8	89,6	59,0
M-LAR-2; 54 horas	54	3,53	4,67	1,68	11,2	11,82	6,99	92,8	91,6	59,0

Tabla N°2. CINÉTICA DE DISOLUCIÓN DE FIERRO

Identificación de Muestra	Muestreo (Horas)	Fe en solución analizado (g/L)			Fe en solución (g)			Fe disuelto c/r a Cu de Cabeza (%)		
		pH 1,8	pH 2,0	pH 2,5	pH 1,8	pH 2,0	pH 2,5	pH 1,8	pH 2,0	pH 2,5
M-LAR-2; 0 hora	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M-LAR-2; 2 horas	2	0,18	0,20	0,08	0,41	0,45	0,21	0,8	0,9	0,4
M-LAR-2; 4 horas	4	0,24	0,31	0,13	0,57	0,73	0,36	1,1	1,4	0,7
M-LAR-2; 6 horas	6	0,28	0,31	0,17	0,70	0,77	0,47	1,3	1,5	0,9
M-LAR-2; 8 horas	8	0,40	0,41	0,20	1,01	1,05	0,58	1,9	2,0	1,1
M-LAR-2; 24 horas	24	0,72	0,66	0,44	1,80	1,68	1,24	3,4	3,2	2,3
M-LAR-2; 48 horas	48	1,06	1,11	0,59	2,68	2,78	1,70	5,1	5,3	3,2
M-LAR-2; 54 horas	54	1,08	1,21	0,67	2,88	3,18	1,99	5,5	5,3	3,7

5

Tabla N°3. VARIACIÓN DE pH Y POTENCIAL

Tiempo de agitación (Horas)	pH 1,8				pH 2,0				pH 2,5			
	PH inicial	PH ajustado	eH inicial	eH ajustado	PH inicial	PH ajustado	eH inicial	eH ajustado	PH inicial	PH ajustado	eH inicial	eH ajustado
0	7,7	1,8	289	324	7,6	2,0	285	348	7,4	2,5	285	375
2	2,0	1,9	273	290	2,3	2,1	226	243	2,6	2,5	238	253
4	2,0	1,8	288	290	2,3	2,0	259	284	2,6	2,5	258	267
6	1,9	1,8	307	309	2,1	2,0	277	289	2,6	2,5	264	272
8	1,8	1,7	299	311	2,1	2,0	283	296	2,5	2,5	266	277
24	1,8	1,8	285	285	1,9	1,9	273	273	2,3	2,3	251	251
48	1,8	1,8	292	292	1,9	1,9	279	279	2,3	2,3	254	254
54	1,8	1,8	297	297	1,9	1,9	279	279	2,3	2,3	256	256

De esta manera, a través de las diferentes pruebas realizadas se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

- 10 1- La Tabla N° 1, que da cuenta de la cinética de disolución de cobre realizada a través del procedimiento que es objeto de la presente solicitud, permite alcanzar niveles de disolución de cobre similares a la lixiviación con ácido sulfúrico (del orden del 94% de cobre total a pH 1,8).
- 15 2- Asimismo, la Tabla N° 1 muestra que para las condiciones ensayadas, la disolución máxima de cobre a pH 2 se alcanza aproximadamente a las 10 horas de agitación.
- 20 3- La Tabla N° 2, que da cuenta de la cinética de disolución de hierro, realizada de conformidad al procedimiento descrito en esta solicitud, disuelve aproximadamente el 5% del hierro contenido en la muestra, siendo la concentración de hierro en la solución rica de cobre del orden de 1 g/l de hierro. Bajo condiciones experimentales similares, la concentración rica de hierro en la solución rica de cobre resultó igual a 4 g/l.
- 4- La Tabla N° 3, que da cuenta de la variación de pH y potencial para electrodeposición, demuestra que, para los tres pH indicados, esto es, pH 1,8; pH 2,0 y pH 2,5; el citrato de cobre obtenido en virtud del procedimiento descrito en la presente solicitud, es electrodepositable.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento hidrometalúrgico para lixiviar minerales de óxido de cobre que permite producir cátodos, láminas o precipitados de cobre, que utiliza un agente lixiviante orgánico no contaminante, que comprende las etapas siguientes:
- 10 a) lixiviación del mineral de óxido de cobre, en la que, una vez trasladado el mineral desde la mina, se procede a la molienda primaria, secundaria y terciaria de dicho mineral para su clasificación, tras lo cual es transportado a una etapa de aglomeración para ser impregnado con un agente lixiviante que consiste en una solución acuosa compuesta por ácido tricarbólico ($C_6H_8O_7$) en combinación con agua (H_2O), en una mezcla tal en que la acidez varía entre un valor de pH de 1,0 y 5,0; el mineral impregnado es transportado y acopiado en pilas de lixiviación, que son irrigadas con el agente lixiviante previamente especificado con una adición sistemática, que consiste en dividir o parcelar las pilas de lixiviación en sectores, los cuales son secuencialmente irrigados con el agente lixiviante, obteniendo de este modo un citrato de cobre concentrado;
- 15 b) electrodeposición del citrato de cobre obtenido, el cual es conducido y vertido, mediante un flujo controlado, a unas tinajas de electrodeposición, que contienen ánodos y cátodos alimentados por un voltaje continuo que varía entre 0,1 y 7,0 Volts, a una densidad de corriente que varía entre 5,0 y 300,0 amperes por metro cuadrado;
- 20 c) recuperación de pilas de lixiviación por medio de una segunda molienda del mineral ya agotado de las pilas de lixiviación, que consiste en una molienda húmeda, en la que se emplea el agente lixiviante previamente descrito, utilizando una agitación mecánica durante un tiempo de residencia controlado, definido conforme a la cinética de lixiviación de cada mineral, generando, de este modo, una pulpa que permite lixiviar el núcleo de dicho mineral, la cual, una vez filtrada, produce un licor de cobre adicional y permite recuperar los metales nobles (oro, plata y platino), así como los sulfuros de cobre que pudieran estar contenidos en la misma.
- 25 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que en la etapa (a) el citrato de cobre obtenido es, asimismo, utilizado junto con el agente lixiviante para irrigar las pilas de lixiviación, recirculándolo por sectores y secuencialmente hasta el agotamiento de las pilas, durante un periodo de tiempo de irrigación que depende de la cinética de lixiviación de cada mineral.
- 30 3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que en la etapa (a) el citrato de cobre obtenido corresponde a un citrato de cobre soluble concentrado y electrodepositable, que permite pasar inmediatamente a la etapa (b) de electrodeposición.
- 35 4. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que opcionalmente en la etapa (a) se añade benzoato de sodio (C_6H_5COONa) o (E211) como agente preservante, que actúa a modo de inhibidor de la proliferación de microorganismos, variando su adición máxima entre el 0,05% y el 1,00% respecto del peso del agente lixiviante descrito.
- 40 5. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que en la etapa (b) el electrolito de citrato de cobre no electrodepositado, es opcionalmente utilizado por vía de recirculación para irrigar, junto con el agente lixiviante descrito, las pilas de lixiviación, aumentando de este modo la concentración de cobre soluble.
- 45 6. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que en la etapa(c), opcionalmente, el citrato de cobre obtenido es conducido y vertido a una piscina de acumulamiento, dentro de la cual se añade hierro +1 en calidad de chatarra limpia, elemento que actúa como catalizador, atrayendo al ion de cobre soluble, tras un tiempo de residencia, que dependerá tanto de la concentración del citrato de cobre, como de la superficie de contacto con el hierro +1, obteniendo de este modo un precipitado de cobre de alta pureza.