

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 696 299**

51 Int. Cl.:

**B03D 1/02** (2006.01)

**B03D 1/012** (2006.01)

**B03D 103/02** (2006.01)

**B03D 101/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.12.2010 PCT/IB2010/003538**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.06.2011 WO11067680**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.12.2010 E 10834290 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018 EP 2506979**

54 Título: **Separación de minerales de cobre de pirito utilizando tratamiento de metabisulfito aéreo**

30 Prioridad:

**04.12.2009 US 266770 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**15.01.2019**

73 Titular/es:

**BARRICK GOLD CORPORATION (100.0%)  
Brookfield Place TD Canada Trust Tower Suite  
3700, 161 Bay Street P.O. Box 212  
Toronto, ON M5J 2S1, CA**

72 Inventor/es:

**GORAIN, BARUN**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 696 299 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

Separación de minerales de cobre de piritita utilizando tratamiento de metabisulfito aéreo

5 Campo

La invención se relaciona en general con la recuperación de metales y particularmente, con la recuperación de minerales de cobre, molibdeno y/o oro por flotación en aguas con una gama de capacidades de amortiguación y/o salinidades.

10

Antecedentes

15 El empleo de la flotación para mejorar los minerales valiosos de la piritita y otros minerales de la ganga se realiza generalmente a un pH alcalino. La alcalinidad se controla mediante la adición de cal u otros compuestos alcalinos. La cal se emplea normalmente ya que es un reactivo relativamente económico; sin embargo, se requieren grandes cantidades de cal y otros reactivos cuando el agua disponible para el circuito de flotación posee una alta capacidad de amortiguación. En otras palabras, se necesita una gran cantidad de cal para alterar y mantener el pH en las condiciones óptimas de operación. La adición de cal también puede disminuir la flotación de minerales tales como calcopiritita, esfalerita, molibdenita, piritita, pirrotita y oro y otros metales preciosos a través de la deposición de calcio en la superficie del metal.

20

25 Comúnmente, en la flotación de sulfuros, la efectividad de los agentes de flotación se controla por el nivel de alcalinidad o acidez en los reguladores de alimentación de flotación o de pH de pulpa, tal como cal, ceniza de sosa y, en menor medida, soda cáustica, se emplean a menudo como los agentes que controlan el pH. La cal es el agente más comúnmente utilizado debido a su coste, disponibilidad y capacidad para mantener valores de pH de pH 10.5 y superiores. El ajuste del pH de la pulpa a pH 11.0 es necesario para disminuir los minerales de sulfuro de la ganga de hierro, tales como piritita y pirrotita. Los costes asociados con la adición de cal pueden ser significativos y se ha demostrado aquí que la efectividad de la cal como un reductor se reduce en aguas que contienen altos niveles de sales disueltas o están altamente amortiguadas.

30

Se han empleado otros reductores de sulfuro para disminuir la piritita, tal como cianuro o hidrosulfuro de sodio, junto con la modificación del pH. No se pueden usar en un amplio intervalo de pH y requieren altos valores de pH, por lo que el alto consumo de cal sigue siendo un problema. Además, estos reductores pueden no ser lo suficientemente selectivos en dosificaciones económicas.

35

El documento de Estados Unidos 1,397,703 divulga un proceso de flotación sin colector de minerales de sulfuro de cobre en agua de mar en lugar de un reactivo de sulfoxi.

40

El uso de compuestos de sulfoxi para mejorar la recuperación de minerales de sulfuro se describió ya por el documento de Estados Unidos 2,154,092 de Hunt. Esta patente describe un proceso para tratar minerales que contienen sustancias carbonosas o gráficas asociadas con componentes de ganga. Estas sustancias carbonosas pueden permanecer con la mena de mineral valioso durante la flotación y reducir la calidad o recubrir los minerales valiosos, lo que reduce su recuperación por flotación. Para evitar esto, se agrega dióxido de azufre o cualquier otro gas reductor a la pulpa, sin mezclarlo con aire, para inhibir la flotación de la ganga nociva y los minerales recubiertos de carbono.

45

50 Cuando se agrega el gas de dióxido de azufre, Hunt declara que el pH resultante del agua de la pulpa usualmente está en el lado ácido (<pH 7). En algunos casos, dependiendo de la alcalinidad natural de tanto el mineral como del agua de molienda, la pulpa puede permanecer alcalina. El proceso puede llevarse a cabo cuando la pulpa es ácida o alcalina.

50

55 Hunt enseña que el gas reductor también puede generarse internamente en la propia pulpa de mineral por la acción de uno o más productos químicos adecuados. Por ejemplo, cuando se agregan ácido sulfúrico y un sulfito alcalino (base) o alcalinotérreo, bisulfito o tiosulfato a una pulpa de mineral, el dióxido de azufre será uno de los productos resultantes de la interacción.

55

Una serie de otras patentes han empleado compuestos de sulfoxi en circuitos de flotación de sulfuro.

60

El documento CA 1,238,430 divulga un proceso de flotación que usa dióxido de azufre y aire para recuperar calcopiritita y pirrotina como un producto flotante mientras se disminuye la pentlandita.

65 La Patente de Estados Unidos 5,171,428 de Beattie, et al., describe un proceso para separar arsenopiritita de una mezcla con piritita poniendo en contacto la mezcla con un agente sulfítico que proporciona ion de  $\text{HSO}_3^-$ . El proceso se realiza a una temperatura elevada y un pH por debajo de aproximadamente pH 8 durante un período suficiente para impartir una reducción selectiva de arsenopiritita.

Las Patentes de Estados Unidos 6,032,805 y 6,092,666 de Clark, et al., divulgan un método para reducir el consumo de modificadores de pH alcalinos utilizando un reactivo que contiene radical sulfoxi. Antes o simultáneamente con la introducción del reactivo que contiene radical sulfoxi, se agrega un gas no oxidante (tal como un gas inerte o reductor) en una cantidad suficiente para lograr un ambiente químico conducente para la separación de minerales por flotación. Antes de la adición del colector y del formador de espuma, pero después del contacto con el gas no oxidante, la pasta, solo cuando es necesario, es aireada por un gas oxidante a una concentración particular de oxígeno disuelto o potencial electroquímico adecuado para la flotación.

La Patente de Estados Unidos 6,041,941 de Newell, et al., presenta un proceso similar al de Clark, et al., con el objetivo de reducir el consumo de reactivos y la formación de incrustaciones de minerales en los circuitos de flotación. En el proceso de Clark, et al., se agrega el gas no oxidante para evitar la oxidación del radical sulfoxi. El gas no oxidante se introduce durante las etapas de acondicionamiento de reactivos y flotación. En estas etapas, el oxígeno disuelto en la pasta tiene más probabilidades de degradar los compuestos sulfoxi y dar lugar a la formación de incrustaciones.

Existe la necesidad de un proceso que pueda separar minerales de sulfuro que contienen metales valiosos de otros minerales de sulfuro, particularmente minerales de ganga sulfurosa, mientras se controlan los niveles de consumo de reactivos en aguas con un rango significativo de capacidades de amortiguación y/o salinidades, sin la adición de cal u otros modificadores de pH.

#### Resumen

Estas y otras necesidades se abordan mediante las diversas realizaciones y configuraciones de la presente invención. La invención está dirigida en general a la separación por flotación asistida con reactivos de sulfoxi de minerales de sulfuro metálico valiosos de otros sulfuros, particularmente pirita, marcasita, pirrotita, arsenopirita y otros minerales de ganga.

En una realización, un reactivo de sulfoxi, preferiblemente un metabisulfito de amonio, hidrógeno, metal alcalino y/o metal alcalinotérreo, se agrega a un material de alimentación sulfuroso que contiene metal valioso en pasta, aireado, antes de la flotación. El proceso es particularmente aplicable a la separación por flotación de sulfuros de cobre, tales como calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), covellita ( $\text{CuS}$ ), tetraedrita ( $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ), tenantina ( $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ ) y enargita y/o sulfuro de molibdeno (por ejemplo, como molibdenita ( $\text{MoS}_2$ )), por un lado, de pirita ( $\text{FeS}_2$ ), marcasita ( $\text{FeS}_2$ ), pirrotita ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ), arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ) por el otro. El reactivo de sulfoxi actúa como un reductor de los minerales de sulfuro de ganga. De esta manera, se puede realizar una separación por flotación altamente selectiva de diferentes minerales de sulfuro.

A diferencia de los procesos de flotación convencionales que eliminan el oxígeno molecular de la pasta antes de la adición del reactivo de sulfoxi, el reactivo de sulfoxi se agrega a un material de alimentación que contiene metal valioso aireado. El paso de aireación se realiza en la medida en que se forme una capa delgada de oxidación de la superficie sobre los minerales de sulfuro de cobre para promover la adsorción del colector y, por lo tanto, la flotación de los minerales de cobre. Para promover la formación de esta capa, el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta preferiblemente no se pone en contacto con un gas no oxidante generado externamente para disminuir el contenido de oxígeno molecular disuelto, antes del paso de flotación.

En algunas realizaciones, el reactivo de sulfoxi se introduce después de la aireación y antes del acondicionamiento de la pulpa con el colector y el formador de espuma.

En algunas realizaciones, el reactivo de sulfoxi se introduce no solo después de la aireación sino también adicionalmente en el circuito de molienda primario y/o secundario. Si bien no desea limitarse a ninguna teoría, esto permite que el reactivo de sulfoxi entre en contacto con las superficies de sulfuro mineral recién expuestas y no oxidadas, lo que aumenta la efectividad del reactivo.

En algunas realizaciones, el proceso de flotación se realiza a pH natural y en ausencia sustancial de modificación de pH. Dicho de otra manera, no se agrega ácido o base para ajustar el pH del material de alimentación en pasta en ninguna etapa en los circuitos de trituración y flotación, a menos que la modificación del pH se realice por razones económicas, tal como la reducción de la dosificación del reactivo sulfoxi, reducir el efecto de corrosión y/o para evitar una situación de pH más bajo cuando se necesita una dosificación alta de reactivo de sulfoxi. Sin embargo, la modificación del pH debe controlarse cuidadosamente para evitar que impacte adversamente la recuperación del metal valioso o la calidad del concentrado.

El proceso puede utilizar, en la formación de pulpa, cualquier calidad de agua, ya sea agua dulce, salobre o salada, e independientemente de la calidad de amortiguación.

La combinación de la etapa de aireación seguida de una etapa de adición de reactivo de sulfoxi, y en la ausencia de un ajuste de pH, puede resultar en un aumento de la rata y recuperación de flotación de mineral de sulfuro de cobre y una mejor calidad del concentrado de mineral de sulfuro de cobre. Aunque el nivel de oxígeno molecular disuelto

producido por la aireación puede, en ciertas situaciones, aumentar el consumo de reactivos de sulfoxi, la mejora sustancial en la cinética y la eliminación de los requisitos de reactivos de cal pueden compensar con creces cualquier aumento en los costes de reactivos de sulfoxi. Este proceso es particularmente útil cuando el agua disponible para formar la pulpa de flotación contiene una capacidad de amortiguación significativa y es efectiva en un amplio intervalo de pH de pulpa. De hecho, el proceso puede ser más rentable en términos de recuperación y consumo de reactivos que los procesos convencionales que usan adición de cal y cianuro. El proceso ha demostrado un rendimiento superior cuando se utiliza en agua que contiene una capacidad de amortiguación o salinidad significativa. Por consiguiente, el proceso es particularmente útil para operaciones de concentración cuya única fuente de agua disponible es el agua de mar o el agua subterránea salobre.

Estas y otras ventajas serán evidentes a partir de la divulgación de las invenciones contenidas aquí.

El término "un" o "una" entidad se refiere a una o más de esa entidad. Como tales, los términos "un" (o "una"), "uno o más" y "al menos uno" se pueden usar indistintamente aquí. También se debe tener en cuenta que los términos "que comprende", "que incluye" y "que tiene" se pueden usar indistintamente.

Las frases "al menos uno", "uno o más", y "y/o" son expresiones abiertas que son tanto conjuntivas como disyuntivas en funcionamiento. Por ejemplo, cada una de las expresiones "al menos una de A, B y C", "al menos una de A, B o C", "una o más de A, B y C", "una o más de A, B o C" y "A, B y/o C" indica solo A, solo B, solo C, A y B juntos, A y C juntos, B y C juntos, o A, B y C juntos. Cuando cada una de A, B y C en las expresiones anteriores se refiere a un elemento, como X, Y y Z, o clase de elementos, como X1-Xn, Y1-Ym y Z1-Zo, la frase pretende referirse a un solo elemento seleccionado de X, Y y Z, una combinación de elementos seleccionados de la misma clase (por ejemplo, X1 y X2), así como una combinación de elementos seleccionados de dos o más clases (por ejemplo, Y1 y Zo).

El término "agua salobre" se refiere al agua que tiene más salinidad que el agua dulce pero no tanto como el agua salada. Típicamente, el agua salobre tiene una salinidad que varía de aproximadamente 0.1 partes por mil (0.01%) a aproximadamente 25 partes por mil (2.5%).

El término "capacidad de amortiguación" se refiere a la calidad en que una solución puede resistir la alteración de su pH cuando se agregan modificadores de pH externos.

El término "disolver" y las variaciones del mismo se refieren al proceso mediante el cual un sólido o líquido entra en su fase acuosa (solución).

El término "metabisulfito" se refiere al oxianión del azufre  $S_2O_5^{2-}$  o cualquier sal que contenga este ión. El metabisulfito generalmente está en la forma de un metal y el anión bisulfito ( $S_2O_5$ ), generalmente en la forma de un metabisulfito de metal alcalino o alcalinotérreo.

El término "mineral" y variaciones del mismo se refieren a cualquier sustancia química formada naturalmente que tiene una composición química definida y una estructura cristalina característica.

El término "pH natural" se refiere al pH de una solución en la ausencia sustancial de modificación del pH intencional. La modificación del pH intencional se produce cuando se agrega un ácido o base a una solución con el fin de ajustar el pH. Un ejemplo de modificación del pH no intencional es cuando el pH se ajusta por aireación, acondicionamiento de la pulpa con un reactivo de flotación (como colector, formador de espuma, activador, reductor, dispersante y similares), o adición de reactivo de sulfoxi.

El término "metal precioso" se refiere en general a oro y plata.

El término "solución derivada de la misma" se refiere a una solución que tiene al menos un componente común con la solución de origen de la cual se deriva la solución, directamente o indirectamente. Por ejemplo, una solución que tiene un agente de lixiviación, un contaminante o un metal valioso encontrado en la solución fuente se considera que se deriva de ésta. Por lo tanto, una solución de refinado o árida se considera una solución derivada de una solución de lixiviación cargada. Asimismo, se considera que un extractor o electrolito cargado, que contiene el metal valioso, o la solución de la tira, se deriva, directamente o indirectamente, de la solución de lixiviación cargada. Del mismo modo, se considera que un concentrado en pasta o relaves se deriva del material de alimentación a la etapa de flotación.

El término "mineral de sulfuro" se refiere a un mineral que contiene un metal como el catión y el sulfuro ( $S^{2-}$ ) como el anión principal.

El término "reactivo de sulfoxi" se refiere a una composición que contiene un ingrediente en el que el oxígeno está directamente unido a S, como  $S=O$ ,  $SO_3X$ ,  $SO_4$ , etc., o que actúa como una fuente para el radical sulfoxi.

El término "agua salada" se refiere a agua, típicamente océano o agua de mar, que tiene una salinidad de aproximadamente 25 partes por mil (2.5%) o más, más típicamente de aproximadamente 30 partes por mil (3.0%) o

- 5 más, e incluso más típicamente de aproximadamente 35 partes por mil (3.5%) o más. El agua salada típicamente tiene un total de sólidos disueltos de aproximadamente 10,000 mg/L o más, incluso más preferiblemente de aproximadamente 20,000 mg/L o más, e incluso más preferiblemente de aproximadamente 25,000 mg/L o más. Aunque el agua de mar contiene más de 70 elementos, la mayoría de las sales de agua de mar son iones de seis elementos principales: cloruro, sodio, sulfato, magnesio, calcio y potasio.
- El término "salinidad" se refiere al contenido de sal disuelta de un cuerpo de agua. Describe los niveles de diferentes sales como el cloruro de sodio, sulfatos de magnesio y calcio, y bicarbonatos.
- 10 El término "sulfito" son compuestos que contienen el ion de sulfito  $\text{SO}_3^{2-}$  (nombre IUPAC aditivo: trióxidosulfato (2-)). El ion de sulfito es la base conjugada del ácido sulfuroso.
- El término "metal valioso" se refiere a plata, oro, un metal base no ferroso (níquel, plomo, cobre y zinc), cobalto, molibdeno y mezclas de los mismos, siendo el cobre un metal común en la matriz de sulfuro.
- 15 Lo anterior es un resumen simplificado de la invención para proporcionar una comprensión de algunos aspectos de la invención. Este resumen no es una visión general extensiva ni exhaustiva de la invención y sus diversas realizaciones. No se pretende identificar elementos clave o críticos de la invención ni delinear el alcance de la invención, sino presentar conceptos seleccionados de la invención en una forma simplificada como una introducción a la descripción más detallada presentada a continuación. Como se apreciará, otras realizaciones de la invención son posibles utilizando, solo o en combinación, una o más de las características expuestas anteriormente o descritas en detalle a continuación.
- 20 Breve descripción de los dibujos
- 25 Los dibujos adjuntos se incorporan y forman parte de la especificación para ilustrar varios ejemplos de la presente invención. Estos dibujos, junto con la descripción, explican los principios de las invenciones. Los dibujos simplemente ilustran ejemplos preferidos y alternativos de cómo las invenciones se pueden hacer y usar y no deben interpretarse como limitantes de las invenciones solo a los ejemplos ilustrados y descritos. Otras características y ventajas se harán evidentes a partir de la siguiente descripción, más detallada, de las diversas realizaciones de las invenciones, como se ilustra en los dibujos a los que se hace referencia a continuación.
- 30 La Fig. 1 es un diagrama de flujo de un proceso de acuerdo con una realización;
- 35 Las Figs. 2A-B are un diagrama de flujo de un proceso de acuerdo con una realización;
- La Fig. 3 es un diagrama de flujo de un proceso de acuerdo con una realización;
- 40 La Fig. 4 es un diagrama de flujo de un proceso de acuerdo con una realización;
- La Fig. 5 es una curva de recuperación de cobre para varios esquemas de reactivos de flotación en agua de grifo y grafica la calidad de cobre (%) contra la recuperación de cobre (%);
- 45 La Fig. 6 es una curva de recuperación de cobre para varios esquemas de reactivos de flotación en agua salada y grafica la calidad de cobre (%) contra la recuperación de cobre (%);
- La Fig. 7 es una curva de recuperación de cobre para varios esquemas de reactivos de flotación en agua de grifo y grafica la calidad de cobre (%) contra la recuperación de cobre (%);
- 50 La Fig. 8 es una curva de recuperación de cobre para varios esquemas de reactivos de flotación en agua salada y grafica la calidad de cobre (%) contra la recuperación de cobre (%);
- La Fig. 9 es una curva de recuperación de cobre en agua salada y agua del grifo con adición de MBS, con y sin aireación, y gráfica de la calidad de cobre (%) contra la recuperación de cobre (%); y
- 55 La Fig. 10 es una curva de recuperación de cobre en agua salobre y agua del grifo con adición de MBS, con y sin aireación, y gráfica de la calidad de cobre (%) contra la recuperación de cobre.
- 60 Descripción detallada
- 65 El proceso descrito aquí emplea la adición de un reactivo de sulfoxi, preferiblemente un metabisulfito, a uno o más puntos en un circuito de flotación. En una configuración de proceso, la adición del reactivo de sulfoxi está precedida por un período de aireación, típicamente intenso, en el que se promueve activamente una atmósfera oxidante y oxígeno molecular disuelto, en lugar de prevenirla o inhibirla. La combinación de aireación con adición de reactivo de sulfoxi, sin ajuste del pH de la pulpa resultante con una base, tal como cal, soda cáustica o ceniza de soda, o un ácido, como ácido sulfúrico, y en la ausencia de depresores de sulfuro, tal como el cianuro o el hidrosulfuro, puede

5 mostrar una mejora notable con respecto a la adición de un reactivo sulfoxi sin, o en ausencia de, el paso de aireación y puede ser más rentable en términos de recuperación y consumo de reactivos que los procesos convencionales que emplean la adición de bases y/o depresor de sulfuros. Además, el proceso puede tener un rendimiento superior cuando se utiliza en agua que contiene una cantidad insignificante a una significativa de salinidad. Este proceso puede ser particularmente útil para operaciones de concentración cuya única fuente de agua disponible es el agua de mar o el agua subterránea salobre. En otras realizaciones, el reactivo de sulfoxi se introduce no solo después de la aireación sino también en un circuito de molienda, en particular el circuito de molienda secundario.

10 Con referencia a la Fig. 1, un material 100 de alimentación que contiene metal valioso puede ser cualquier material adecuado que contenga cobre y/o molibdeno, particularmente mineral extraído, relaves, concentrado u otro residuo de un proceso de recuperación de metal. El material 100 de alimentación incluye no solo uno o más minerales de cobre y/o sulfuro de molibdeno, sino también uno o más minerales de sulfuro (particularmente minerales de ganga sulfurosa) que se van a separar de los minerales de sulfuro metálico valiosos. Típicamente, el material 100 de alimentación es polimetálico, con algunos o todos los metales presentes como un sulfuro. Un material 100 de alimentación común incluye cobre en la forma de uno o más de calcopirita, calcocita, bornita, covellita, tenantita, enargita y tetrahedrita y/o molibdeno en la forma de molibdenita como el mineral de sulfuro metálico valioso y un mineral de sulfuro de hierro es uno o más de pirita, marcasita, arsenopirita y pirrotita, como un mineral de ganga sulfídica. El oro o la plata están presentes típicamente. En muchas aplicaciones, el sulfuro de hierro es el mineral de la ganga sulfurosa primario (por ejemplo, más del 50% del mismo) en el material 100 de alimentación.

En el paso 104, el material 100 se suspende y se tritura en un circuito de molienda abierto o cerrado. El material 108 de alimentación triturado se envía a un paso 112 de aireación antes del paso 114 de adición de reactivo sulfoxi.

25 El agua utilizada para formar la pasta del material 100 puede ser agua dulce, agua subterránea salobre, agua salada o cualquier mezcla de los mismos. El proceso es sorprendentemente efectivo en la flotación de minerales de sulfuro metálico valiosos, ya sea o no que el agua sea salina y contenga sólidos disueltos o sea agua dulce. En una configuración de proceso, por ejemplo, el agua tiene una salinidad de aproximadamente 0.1 partes por mil (0.01%) o más.

30 El tamaño de liberación óptimo del material 100 depende del tipo de mineral, de la comprensión de la liberación de mineral y de la química de la solución del mineral, y de los costes de energía y medios.

35 El material 108 de alimentación triturado está en la forma de una pasta, que tiene preferiblemente una densidad de pulpa de alimentación que varía de aproximadamente 20 a aproximadamente 45% en peso.

40 El material 108 de alimentación triturado se somete a aireación en el paso 112 en un recipiente adecuado para formar un material 132 de alimentación aireado. La aireación se realiza típicamente mediante rocío, bajo agitación, un gas oxidante, preferiblemente un gas molecular que contiene oxígeno (tal como como aire, oxígeno molecular sustancialmente puro y aire enriquecido con oxígeno molecular) a través del material 108 de alimentación. El gas oxidante incluye preferiblemente al menos aproximadamente 20 % en volumen de oxígeno molecular. La aireación se realiza durante un tiempo suficiente para permitir que se forme una capa delgada de oxidación superficial en la superficie de los minerales 108 de cobre y/o sulfuro de molibdeno. El tiempo de residencia requerido para producir la película oxidada deseada varía preferiblemente desde aproximadamente 15 a aproximadamente 120 minutos y más preferiblemente desde aproximadamente 30 a aproximadamente 60 minutos. En la mayoría de las aplicaciones, el pH no se ajusta durante la aireación o cualquier paso posterior a la aireación

50 Si bien no se desea limitarse a ninguna teoría, la capa delgada de oxidación superficial sobre los minerales de cobre y/o sulfuro de molibdeno permite una mejor absorción del colector por parte del mineral. Esto es sorprendente para un experto en la técnica, que creería que la aireación conduce a la oxidación de los minerales de cobre y sulfuro de molibdeno, lo que reduce la flotabilidad y reduce la estabilidad del compuesto de sulfoxi.

55 En el paso 114, el reactivo 118 de sulfoxi se agrega al material 132 de alimentación aireado para formar un material 122 de alimentación tratado. El reactivo 118 de sulfoxi se puede agregar de cualquier manera adecuada. A diferencia de los procesos convencionales, el reactivo 118 de sulfoxi se agrega mientras que el material 132 de alimentación aireado se oxigena. En otras palabras, el oxígeno molecular disuelto no se elimina del material de alimentación triturado antes de la adición del reactivo 118 de sulfoxi. El nivel de oxígeno molecular disuelto en el material 132 de alimentación aireado durante el acondicionamiento es preferiblemente al menos aproximadamente 3 ppm, más preferiblemente al menos aproximadamente 5 ppm, e incluso más preferiblemente al menos aproximadamente 10 ppm.

65 El reactivo 118 de sulfoxi puede ser cualquier compuesto de sulfoxi, tal como un sulfito bisulfito, metabisulfito, sulfuro, polisulfuro, tiosulfato, politionato o bisulfuro de amonio, hidrógeno, metal alcalino o metal alcalinotérreo, dióxido de azufre y mezclas de los derivados de los mismos. El reactivo 118 de sulfoxi preferido es uno o más de un sulfito, bisulfito o metabisulfito de amonio, hidrógeno, metal alcalino o metal alcalinotérreo, y/o dióxido de azufre, siendo aún más preferido un metabisulfito de amonio, hidrógeno, metal alcalino o metal alcalinotérreo. Si bien no se

desea estar sujeto a ninguna teoría, se cree que el reactivo 118 de sulfoxi actúa como un depresor de otros minerales de sulfuro (por ejemplo, minerales de ganga de sulfuro de hierro, particularmente pirita). Como apreciará un experto en la técnica, el ión de sulfito puede añadirse o formarse in situ mediante una reacción química adecuada entre los precursores de ión de sulfito.

5 Hay varias configuraciones de proceso diferentes para la adición del reactivo 118 de sulfoxi. En una configuración de proceso, una porción del reactivo 118 de sulfoxi se agrega en una etapa, opcionalmente durante la molienda, con cantidades adicionales que se agregan después de la aireación y antes de cada una de las etapas de limpieza, nueva limpieza o flotación de barrido. En otra configuración de proceso, la mayoría del reactivo 118 de sulfoxi se  
10 agrega en una o más etapas después de la aireación, con cantidades más pequeñas adicionales siendo opcionalmente añadidas antes de cada una de las etapas de limpieza, nueva limpieza o flotación de barrido. En otra configuración de proceso, no se agrega ningún reactivo 118 de sulfoxi durante ninguna etapa de molienda sino solo después de la aireación. La rata de adición de reactivo 118 de sulfoxi acumulativa típica, para todos los puntos de adición, es al menos aproximadamente 50 g/t, más típicamente al menos aproximadamente 100 g/t, más típicamente  
15 más de 200 g/t, e incluso más típicamente de más de 200 g/t hasta aproximadamente 1,000 g/t.

Si bien no desea estar vinculado por ninguna teoría, se cree que el reactivo de sulfoxi y el gas oxidante actúan de forma sinérgica para mejorar sustancialmente la separación selectivamente y la efectividad, particularmente en aguas altamente amortiguadas y/o salinas. Si bien se cree que la aireación oxida las superficies de minerales de sulfuros, lo cual aumenta la flotabilidad del mineral valioso de sulfuro metálico, se cree que la adición de reactivo de sulfoxi después de la aireación controla de manera óptima la disminución del otro mineral de sulfuro que se eliminará como relaves. El aumento de la flotabilidad, por ejemplo, de los minerales de sulfuro de cobre con aireación mientras se disminuye la pirita con el reactivo de sulfoxi, puede permitir una selectividad de flotación mucho mejor que la que es posible en la ausencia de aireación. Este efecto sinérgico se realiza mejor cuando la aireación y adición del  
20 reactivo de sulfoxi se producen secuencialmente, con la aireación precediendo a la adición del reactivo de sulfoxi.

En el paso 116, el material 122 de alimentación tratado se acondiciona para formar un material 134 de alimentación aireado y acondicionado. El acondicionamiento se realiza en un recipiente adecuado, o tanque de acondicionamiento de pulpa, antes de la flotación. En la flotación, la cantidad de agitación y la consiguiente dispersión durante el acondicionamiento están estrechamente asociadas con el tiempo requerido para que tengan lugar las reacciones físicas y químicas.

Se pueden añadir varios reactivos durante el acondicionamiento, incluido un colector 120, un formador 124 de espuma y otros reactivos 128. Se puede emplear cualquier colector 120 y formador 124 de espuma adecuados. Otros reactivos 128 incluyen activadores, reductores (tal como un reductor de carbono para disminuir la flotación de material carbonoso y/o grafitico), dispersantes de arcilla, modificadores, cal (en situaciones limitadas como un dispersante de bajo coste o modificador de viscosidad como ejemplos) y reactivos para controlar el potencial electro (Eh) y/o el pH. Dependiendo del tipo de agitación durante el acondicionamiento, el nivel de oxigenación puede aumentar. Para un agitador de flujo descendente, el oxígeno molecular adicional probablemente será arrastrado en la pasta. El acondicionamiento ocurre típicamente durante un período entre aproximadamente 0.5 a aproximadamente 60 minutos e incluso más típicamente entre aproximadamente 2 a aproximadamente 30 minutos.

El material 134 de alimentación aireado y acondicionado se hace flotar en el paso 136, preferiblemente en la presencia de aire rociado, para formar una fracción 144 de concentrado que contiene comúnmente aproximadamente 25% o más, más comúnmente aproximadamente 40% o más, e incluso más comúnmente más de aproximadamente 50% de los minerales valiosos de sulfuro de metal y una fracción 140 de relaves que contiene comúnmente aproximadamente 25% o más, más comúnmente aproximadamente 40% o más, e incluso más comúnmente más de aproximadamente 50% de los minerales de sulfuro que van a ser eliminados como relaves. En el circuito de flotación, el material 134 de alimentación aireado y acondicionado se hace flotar en un banco, o serie, de máquinas de flotación. Las máquinas de flotación pueden ser celdas de flotación aireadas.

La flotación puede incluir una o más etapas, dependiendo de la aplicación. El número y la configuración de las etapas de desbaste, barrido y limpieza se determinan con base en los criterios conocidos por aquellos expertos en la técnica.

La selección del colector 120, el formador 124 de espuma y otros reactivos 128 para un material de alimentación específico, así como la densidad de la pulpa, las ratas de adición de los reactivos, el orden de adición de los reactivos, la rata de adición de aire durante la flotación, Eh y otras condiciones y parámetros de flotación también son bien conocidos por aquellos expertos en la técnica.

En una configuración de proceso, el paso 104 de trituración, el paso 112 de aireación, el paso 116 de acondicionamiento y el paso 136 de flotación se realizan en ausencia sustancial o completa de ajuste de pH por un ácido o base (por ejemplo, en la ausencia de adición de ácido o base (por ejemplo, cal, ceniza de soda y/o soda cáustica). En otras palabras, los pasos se realizan a pH natural, que, para muchos minerales y agua de compensación, es un pH alcalino de no más de aproximadamente pH 11, más típicamente un pH de menos de pH 8.5, más típicamente un pH de no más de aproximadamente pH 8, e incluso más típicamente un pH que varía desde

aproximadamente pH 3 a aproximadamente pH 8. La Eh típicamente será mayor que aproximadamente 5 mV y menor que aproximadamente 155 mV y más típicamente varía desde aproximadamente 10 a aproximadamente 120 mV.

5 En una configuración de proceso, el paso 104 de trituración, el paso 112 de aireación, el paso 116 de acondicionamiento y el paso 136 de flotación se llevan a cabo en ausencia sustancial o completa de reducción de oxígeno molecular disuelto, rociando el material de alimentación en pasta con un gas no oxidante. El gas no oxidante tiene poco o ningún contenido de oxidante y es principalmente, si no completamente, un gas inerte (por ejemplo, nitrógeno y argón), un gas reductor (por ejemplo, un gas reductor distinto del dióxido de azufre, tal como el dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, etano y/o propano), o una mezcla de los mismos. En una configuración de proceso, el reactivo 118 de sulfoxi agregado está sustancialmente libre de gas de dióxido de azufre. Al eliminar el rociado por el gas no oxidante, se puede mantener un nivel relativamente alto de oxígeno molecular disuelto en la pasta antes y después de la aireación.

15 Se discutirá ahora otra configuración del proceso con referencia a las Figs. 2A-B. En este ejemplo, el mineral de sulfuro metálico valioso es un sulfuro de cobre y el otro mineral de sulfuro (o mineral de la ganga sulfurosa) es uno o más de pirita, marcasita, pirrotita y arsenopirita.

20 El material 100 valioso de alimentación que contiene metal se tritura en el paso 104 para formar un material 108 de alimentación triturado.

25 El material 108 de alimentación triturado se acondiciona en el paso 116 para formar un material 132 de alimentación acondicionado. Los reactivos añadidos durante el acondicionamiento son el colector 120, el formador 124 de espuma y otros reactivos 128. No se agrega ningún reactivo 118 de sulfoxi.

30 El material 132 de alimentación acondicionado se somete a una flotación más áspera en el paso 200 para formar relaves 204 más burdos y un concentrado 208 más burdo. Mientras que la mayoría de los minerales de sulfuro metálico valiosos permanecen en el concentrado 208 más burdo, los relaves 204 más burdos contienen una porción significativa de los minerales de la ganga del sulfuro. Como se puede ver en la Fig. 2A, no se ha agregado ningún reactivo 118 de sulfoxi antes de una flotación más dura.

35 En el paso 228, se combinan el concentrado 208 y 220 más burdo y de barrido, respectivamente, se ajusta la densidad de la pulpa y se vuelve a triturar, en un circuito de trituración cerrado o abierto, para formar un concentrado 232 triturado de nuevo. Como se apreciará, los minerales de sulfuro de hierro en flotación en la fracción 208 de concentrado son más difíciles de separar y requieren más trituración para que se pueda realizar una liberación efectiva.

40 El reactivo 118 de sulfoxi puede añadirse opcionalmente durante la trituración secundaria y después de la aireación. La adición del reactivo de sulfoxi en el molino puede permitir la adsorción inmediata del radical de sulfoxi en superficies de minerales de sulfuro frescos y no oxidados. En una configuración, se agrega más reactivo 118 de sulfoxi antes de la flotación de limpieza que en cualquier otro punto durante el proceso.

45 En el paso 212, los relaves 204 más burdos se acondicionan adicionalmente mediante la adición del colector 120 y, en el paso 216, los relaves más burdos acondicionados se someten a la flotación 216 de barrido para producir un concentrado 220 de barrido y los relaves 224 de barrido. Los minerales de sulfuro de cobre más lentos se flotan durante la flotación de barrido. El concentrado 220 de barrido se combina con el concentrado 208 más burdo y se somete a trituración secundaria.

50 Después del paso 228 de trituración secundaria, el concentrado 232 triturado nuevamente se somete, en el paso 112, a aireación para formar un concentrado 236 aireado.

En el paso 114 opcional, se agrega el reactivo 118 de sulfoxi para formar un concentrado 238 más burdo tratado.

55 En el paso 116, el concentrado 236 más burdo aireado o tratado (según corresponda) se acondiciona para formar un concentrado 240 acondicionado. Los reactivos agregados durante el acondicionamiento son el colector 120, el formador 124 de espuma y otros reactivos 128. Típicamente, la aireación, la adición de reactivo de sulfoxi y el acondicionamiento se producen en diferentes recipientes, y el oxígeno molecular disuelto después de la aireación no se reduce, antes de la adición del reactivo de sulfoxi, por la introducción de un gas no oxidante.

60 En el paso 248, el concentrado 240 acondicionado se somete a una flotación de limpieza para formar relaves 252 de limpieza y un concentrado 250 de limpieza. Mientras que la mayoría de los minerales de sulfuro metálico valiosos en el concentrado 240 acondicionado permanecen en el concentrado 250 de limpieza, los relaves 252 de limpieza contienen una porción de los minerales de sulfuro valiosos en el concentrado 240 acondicionado. Los relaves de limpieza contienen una cantidad significativa de los minerales de sulfuro de ganga.

65

En el paso 114 opcional, se añade reactivo 118 de sulfoxi a los relaves de limpieza para formar un relave 262 de limpieza tratado.

5 En el paso 256, los relaves 252 de limpieza o los relaves 262 de limpieza tratados (según sea el caso) se acondicionan mediante la adición del colector 120 para formar los relaves 260 de limpieza acondicionados. Los relaves 260 de limpieza acondicionados se someten a una flotación de barrido de limpieza en el paso 264 para formar relaves 268 de barrido de limpieza y concentrado 272. Mientras que la mayoría de los minerales de sulfuro metálico valiosos en los relaves 252 de limpieza permanecen en el concentrado 272 de barrido de limpieza, los relaves 268 de barrido de limpieza contienen una porción significativa de los minerales de la ganga de sulfuro en los relaves 252 de limpieza. El concentrado 272 de barrido de limpieza se devuelve al paso 228 de trituración secundaria.

15 Volviendo al concentrado 250 de limpieza, el reactivo 118 de sulfoxi, en el paso 114, se añade opcionalmente al concentrado de limpieza para formar un concentrado 252 de limpieza tratado.

El concentrado 250 de limpieza o el concentrado 252 de limpieza tratado (según sea apropiado) se acondiciona en el paso 274 para formar un concentrado 276 de limpieza acondicionado. Durante el acondicionamiento, se agrega el colector 120.

20 El concentrado 276 de limpieza acondicionado, en el paso 278, se somete a la primera flotación de nueva limpieza para formar los primeros relaves 282 de nueva limpieza y el primer concentrado 280 de nueva limpieza. Los relaves 282 de nueva limpieza se devuelven al paso 228 de trituración secundario.

25 En el paso opcional 114, el reactivo 118 de sulfoxi se agrega al primer concentrado 280 de nueva limpieza para formar un concentrado 281 de nueva limpieza tratado.

30 El primer concentrado 280 de nueva limpieza o el concentrado 281 de nueva limpieza tratado (según sea el caso) se acondiciona, en el paso 284, para formar un primer concentrado 286 de nueva limpieza acondicionado. Durante el acondicionamiento, se agrega el primer concentrado 280 de nueva limpieza al colector 120.

35 En el paso 288, el primer concentrado 286 de nueva limpieza acondicionado se somete a la segunda flotación 288 de nueva limpieza para formar los segundos relaves 290 de nueva limpieza, que incluyen preferiblemente al menos la mayoría y más preferiblemente aproximadamente el 70% o más de los minerales de la ganga sulfurosa en el material 100 de alimentación que contiene metal valioso, y segundo concentrado 292 de nueva limpieza, que incluye preferiblemente al menos la mayoría y más preferiblemente aproximadamente 70% o más de los minerales de sulfuro metálico valiosos en el material 100 de alimentación que contiene metal valioso.

40 En el proceso anterior, la flotación de limpieza, el barrido de limpieza y los pasos 244, 264, 278 y 288 de flotación de nueva limpieza primero y segundo, respectivamente, se realizan a pH natural y temperatura ambiente.

45 En el proceso anterior, puede ser deseable realizar un paso de aireación adicional que preceda a uno o más de los pasos de adición de reactivo de sulfoxi realizados corriente abajo de una flotación más áspera. La realización o no de un paso de aireación adicional depende del potencial de oxidación de la pasta antes de la adición adicional del reactivo y colector de sulfoxi. El acondicionamiento previo, la aireación y los pasos de flotación introducirán oxígeno molecular disuelto adicional en las diversas corrientes de pasta.

Como se apreciará, se pueden emplear otras configuraciones de proceso dependiendo del tipo de material de alimentación y mineralogía.

50 Experimental

Los siguientes ejemplos se proporcionan para ilustrar ciertas realizaciones de la invención y no deben interpretarse como limitaciones de la invención, tal como se expone en las reivindicaciones adjuntas. Todas las partes y porcentajes son en peso, a menos que se especifique lo contrario.

55 Ejemplo 1 - Métodos de Flotación Convencionales

60 Este ejemplo demuestra el efecto que la composición del agua empleada en la pulpa de flotación tiene sobre la recuperación de cobre, cuando se usan varios reactivos para disminuir la pirita y concentrar el cobre. Como se muestra en la Tabla 1, el agua salada empleada tiene un contenido de sólidos disueltos totales y conductividad considerablemente mayor que el agua del grifo.

Tabla 1: Composición del agua del grifo y de sitio altamente amortiguada

Parámetro	Unidades	Agua del Grifo	Agua Salada
pH	pH	7.81	8.48
Conductividad	μS/cm	0.96	5360
TDS	mg/L	405	40225
Sodio	mg/L	191	12060
Potasio	mg/L	9.3	414
Calcio	mg/L	332	426
Magnesio	mg/L	10.4	1297
Hierro	mg/L	0.17	<0.10
Cloruro	mg/L	199	20738
Bicarbonato	mg/L	120	70
Sulfato	mg/L	NIL	2890

5 La Fig. 3 es un diagrama de flujo simplificado de las pruebas cinéticas realizadas en este ejemplo. El diagrama de flujo incluye el material 300 de alimentación de acondicionamiento triturado para formar un material 304 de alimentación acondicionado, una flotación 308 más burda del material 304 de alimentación acondicionado (utilizando cinco máquinas de flotación) para formar relaves 312 más burdos y el concentrado 316 más burdo, la trituración 320 secundaria del concentrado 316 más burdo para formar relaves 324 más burdos triturados de nuevo, primera flotación 328 de limpieza de los relaves 324 más burdos triturados de nuevo para formar un primer concentrado 332 de limpieza y primeros relaves 336 de limpieza, segunda flotación 344 de limpieza del primer concentrado 332 de limpieza para formar segundos concentrados 1,2, 348 de limpieza y los segundos relaves 352 de limpieza, y la flotación 340 de barrido de limpieza de los primeros relaves 336 de limpieza para formar un concentrado 356 de barrido de limpieza y los relaves 360 de barrido de limpieza.

15 Las cinco etapas más burdas para las pruebas de cinética que se describen a continuación se realizaron de manera similar utilizando dos fuentes de agua: agua del grifo y agua con un alto grado de Sólidos Totales Disueltos (TDS) (agua salada). Todas las pruebas se realizaron en mena molida a P80 de 212 micrones para las etapas más burdas y se molieron de nuevo a P80 de 20 -25 micrones para el barredor de limpieza. Aparte de la adición de reactivos, las pruebas se llevaron a cabo usando las mismas condiciones.

25 Se investigó el efecto de diferentes adiciones de reactivos en la depresión de sulfuro y la calidad/recuperación de cobre asociado. Los reactivos empleados fueron ninguno, cal, cianuro de cal y sodio, y cianuro de cal y amil xantato de potasio ("PAX").

La composición del material de alimentación (mineral) empleado en todas las pruebas se muestra en la Tabla 2. La densidad de la pulpa de alimentación inicial fue del 34%. Las condiciones experimentales se muestran a continuación en la Tabla 3.

30 Tabla 2: Mineral de alimentación empleado en pruebas de flotación con agua del grifo y salada

Parámetro	Unidad	Ensayo
Cobre	%	0.478
Hierro	%	3.66
Oro	g/t	0.28
Azufre Total	%	4.34
Sulfuro de azufre	%	1.84

Tabla 3: Adición de reactivos y condiciones de operación para pruebas de flotación realizadas con agua de grifo y agua salada

Agua del grifo											
Descripción de la prueba	pH		Eh mV		Adición del reactivo						Tiempo de flotación(min)
	más burdo	limpiador	más burdo	limpiador	A3894 (g/t)	MX950 (g/t)	PAX (g/t)	NACN (g/t)	MIBC gotas	Cal (g/t)	
Base de referencia	7.3	7.2	98	121	9	37		0	16	0	30.5
Base de referencia con cal	7.35	10.2	119	-4	9	37		0	7	295	30.5
Base de referencia con cal y cianuro.	7.4	10.2	127	-27	9	37		20	11	205	30.5
Base de referencia con cal, cianuro y PAX.	7.5	10.2	105	-27	21		46	20	10	220	30.5
Agua salada											
Descripción de la prueba	pH		Eh mV		Adición del reactivo						Tiempo de flotación(min)
	más burdo	limpiador	más burdo	limpiador	A3894 (g/t)	MX950 (g/t)	PAX (g/t)	NACN (g/t)	MIBC gotas	Cal (g/t)	
Base de referencia	7.1	7	154	125	9	37		0	16	0	30.5
Base de referencia con cal	7.2	10.2	126	7	9	37		0	16	2480	30.5
Base de referencia con cal y cianuro.	7.4	10.2	96	-21	9	37		20	11	1500	30.5
Base de referencia con cal, cianuro y PAX.	7.4	10.0*	108	-16	21		46	20	12	1820	30.5

Las Figuras 5 y 6 anteriores muestran las curvas de recuperación de calidad para los cuatro esquemas de reactivos para el agua del grifo y el agua salada, respectivamente. Para todos los esquemas de reactivos probados, las curvas de recuperación de calidad para el agua del grifo de TDS bajo fueron mejores que aquellas logradas con el agua salada. El agua del grifo con cianuro de cal y PAX tiene la mejor curva de recuperación de calidad. En comparación con el agua del grifo, las técnicas convencionales empleadas para la reducción de la pirita no funcionan tan bien en el agua salada.

#### Ejemplo 2 - Métodos de aireación/reactivo de sulfoxi

Se realizaron pruebas adicionales utilizando un circuito de flotación similar al empleado en el ejemplo 1, con la excepción de la adición de 300 g/t antes de la primera etapa de flotación de limpieza y 300g/t adicionales de metabisulfito (MBS) (el reactivo de sulfoxi) durante la molienda secundaria. En otras palabras, y como se muestra en la Tabla 4 a continuación, se agregó un total de 600 g/t de MBS en el circuito de flotación.

El circuito de flotación se muestra en el diagrama de flujo de la Fig. 4. El diagrama de flujo incluye el acondicionamiento 400 del material 108 de alimentación triturado para formar el material 404 de alimentación acondicionado, la flotación 408 más áspera (utilizando cinco máquinas o etapas de flotación) para formar un concentrado más burdo y las fracciones 412 y 416 de relaves, respectivamente, la trituración 420 secundaria del concentrado 412 más burdo, en la presencia del reactivo 118 de sulfoxi, para formar un concentrado 412 más burdo triturado nuevamente, la aeración 112 del concentrado 412 más burdo triturado nuevamente (para 0 (que indica que no se realizó aireación) o 30 minutos) para formar el concentrado 428 aireado más burdo triturado nuevamente, la adición del reactivo 118 de sulfoxi antes de la flotación 432 de limpieza, y la flotación 432 de limpieza del concentrado 428 más burdo triturado nuevamente aireado para formar el concentrado 1-6 de limpieza y los relaves 436 y 440 de limpieza, respectivamente.

De nuevo, se emplearon los mismos dos tipos de agua: agua del grifo y agua salada con un alto grado de TDS (agua salada). Todas las pruebas se llevaron a cabo en el material de alimentación (mineral) molido a P<sub>80</sub> 212 micrones para las cinco etapas más ásperas y se redondearon a P<sub>80</sub> 20-25 micrones para el barredor de limpieza. Aparte de la adición de reactivos, las pruebas se llevaron a cabo usando las mismas condiciones. La densidad de pulpa de alimentación inicial fue aproximadamente 34%, y el material de alimentación (mineral) fue el mismo que el empleado en el Ejemplo 1. Las condiciones experimentales se muestran a continuación en la Tabla 4. Las pruebas se realizaron con y sin un paso de aireación de 30 minutos después del paso de trituración secundaria, o molienda secundaria, y antes del circuito de flotación de limpieza. Se investigó el efecto de la aireación antes de la adición de MBS sobre la disminución de sulfuro y la calidad de cobre/recuperación. Como referencia, se muestra la curva de recuperación de calidad con cianuro de cal y PAX.

Tabla 4: Adición de reactivos y condiciones de operación para pruebas de flotación realizadas con agua de grifo y agua salada

Agua de sitio		Eh mV		Adición del reactivo					Cal (g/l)	Tiempo de flotación(min)
Descripción de la prueba	más burdo	limpiador	más burdo	limpiador	A3894 (g/l)	MX950 (g/l)	MBS (g/l)	gotas de MIBC	Cal (g/l)	Tiempo de flotación(min)
	MBS con aireación	7.4	5.6	115	85	9	37	600		
MBS sin aireación	7.4	4.8	91	95	9	37	600	12	0	30.5
Agua salada		pH		Adición del reactivo					Cal (g/l)	Tiempo de flotación(min)
Descripción de la prueba	más burdo	limpiador	más burdo	limpiador	A3894 (g/l)	MX950 (g/l)	MBS (g/l)	gotas de MIBC	Cal (g/l)	Tiempo de flotación(min)
	MBS con aireación	7.5	5.2	101	94	9	37	600		
MBS sin aireación	7.5	4.9	103	90	9	37	600	14	0	31.5

5 Como se puede observar en las curvas de recuperación de calidad de las Figs. 7-8, el uso de MBS mejora las curvas de recuperación de calidad de cobre en ambos tipos de agua. El efecto es más pronunciado en el agua salada. Sin embargo, no es hasta que se emplea la aireación que la recuperación de calidad alcanzada en el agua salada comienza a aproximarse a la observada en el agua del grifo. En la Fig. 9 se muestra un gráfico que compara más claramente la recuperación de la calidad de cobre, con y sin aireación. En el agua salada, la adición de MBS mejora la recuperación de cobre del 50% al 75% con la misma calidad de cobre del 32%.

Ejemplo 3- Métodos de aireación/reactivo de sulfoxi

10 Se realizaron pruebas adicionales usando el mismo circuito de flotación de la Fig. 4 que el empleado en el ejemplo 2, con la excepción de que se empleó agua de sitio salobre. El análisis del agua del sitio se muestra en la Tabla 5. Las pruebas se llevaron a cabo, con y sin, un paso de aireación de 30 minutos después de la molienda secundaria y antes del circuito de flotación de limpieza. Se investigó el efecto de la aireación, después de la adición de MBS, sobre la disminución de sulfuro y la calidad/recuperación de cobre. Para referencia, la curva de recuperación de  
 15 calidad con agua del grifo se muestra en las Figs. 10.

Tabla 5: Composición del agua del grifo y del sitio altamente amortiguado

Parámetro	Unidades	Agua de sitio
pH	pH	7.02
Conductividad	μS/cm	10.38
TDS	mg/L	7515
Sodio	mg/L	1940
Potasio	mg/L	11.2
Calcio	mg/L	620
Magnesio	mg/L	84.5
Hierro	mg/L	<0.10
Cloruro	mg/L	2535
Bicarbonato	mg/L	30
Sulfato	mg/L	1198

20 Ejemplo 4 - Prueba de ciclo bloqueado

25 Se realizaron pruebas de ciclo bloqueado usando diferentes tipos de minerales y una solución salina y agua de sitio amortiguada para comparar la flotación realizada usando la adición de reactivo de sulfoxi con la realizada usando cianuro como un reductor en la ausencia de aireación y la adición de reactivo de sulfoxi. Los diversos minerales eran minerales de sulfuro de cobre que contenían niveles sustanciales de sulfuros de hierro. En general, se considera que las pruebas reales de ciclos bloqueados que usan agua del sitio brindan información más valiosa que las pruebas de limpieza abiertos. Un resumen de las pruebas de ciclo bloqueado se presenta en las Tablas 6-7:

30

Tabla 6: Resultados de las pruebas de ciclo bloqueado para las muestras de caída de peso usando el cianuro como un reductor y agua del sitio

No. De compuesto		% de mineral	Grado de cabeza Cu, %	Calidad de concentración	Avance de masa	Recuperación de Cu, %
		depósito				
1		5.0	0.59	28.3	1.9	91.7
2		2.0	0.42	28.2	1.08	72.2
3		5.0	0.61	32.9	1.51	80.9
4		3.0	0.51	31.3	1.41	86.1
5		3.0	0.69	30.5	1.88	83.6
6		4.0	0.43	33.3	1.14	88.5
7		6.0	0.36	25.4	1.1	78
8		5.0	0.67	29.8	2.01	89.5
9		7.0	0.60	34	1.59	89.9
10		9.0	0.61	32.2	1.7	90.1
11		4.0	0.56	29.8	1.66	87.5
12		11.0	0.51	32.9	1.37	88.8
13		5.0	0.56	26.7	1.64	81
14		1.0	0.64	31	1.73	84.5
15		8.0	0.52	28.7	1.42	78.5
16		4.0	0.53	30.7	1.49	87.1
	Promedio ponderado		0.55	30.59	1.53	85.7

5 Tabla 7: Resultados de las pruebas de ciclo bloqueado para las muestras de caída de peso utilizando el proceso de aireación/metabisulfito y el agua del sitio

No. de Compuesto		% de mineral	Grado de cabeza Cu, %	Calidad de concentración	Avance de masa	Recuperación de Cu, %
		depósito				
1		5.0	0.6	33.7	1.66	93.6
2		2.0	0.44	33.6	1.2	92.1
3		5.0	0.63	36.6	1.66	92.2
4		3.0	0.51	34.4	1.38	93.3
5		3.0	0.7	34	1.98	93.8
6		4.0	0.44	34.7	1.09	91.3
7		6.0	0.41	29	1.32	92.6
8		5.0	0.75	37.6	1.09	87.6
9		7.0	0.60	37.4	1.49	91
10		9.0	0.57	33.3	1.65	90.4
11		4.0	0.6	34.7	1.58	91.7

12		11.0	0.48	33.2	1.44	92.4
13		5.0	0.56	24.8	2.11	90.6
14		1.0	0.6	33.7	1.78	93.5
15		8.0	0.51	32	1.43	90.3
16	Promedio ponderado	4.0	0.53	36.8	1.3	90.1
			0.55	33.55	1.50	91.42

Las dos Tablas 6-7 muestran que la flotación con aireación seguida por la adición de metabisulfito de amonio produjo resultados significativamente mejores que la flotación usando cianuro como un reductor de sulfuro de hierro. En promedio, la recuperación de cobre fue aproximadamente 6% mayor con una calidad de concentrado de cobre aproximadamente 3% mayor para la flotación realizada con aireación seguida de la adición de metabisulfito de amonio.

Se pueden usar una serie de variaciones y modificaciones de la invención. Sería posible proporcionar para algunas características de la invención sin proporcionar otras.

Por ejemplo, el reactivo de sulfoxi tiene diferentes modos de operación dependiendo de las mineralogías y las condiciones de pasta (por ejemplo, Eh y pH) involucradas. El reactivo de sulfoxi, por ejemplo, puede actuar como un reductor y/o activador para el mismo mineral de sulfuro bajo diferentes condiciones de pasta o como un reductor para un mineral de sulfuro y/o activador para un mineral de sulfuro diferente bajo un conjunto común de condiciones. Por ejemplo, bajo un conjunto de condiciones, el reactivo de sulfoxi activa la flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc y, bajo un conjunto diferente de condiciones, activa la flotación solo de sulfuros de cobre y no sulfuros de plomo y zinc. En otro ejemplo, el reactivo de sulfoxi disminuye la flotación del sulfuro de zinc pero no del sulfuro de plomo.

En otros ejemplos, el concentrado y los relaves pueden cada uno incluir diferentes minerales de sulfuro de metal valioso. El metal valioso en los relaves se puede aislar posteriormente de cualquier mineral de sulfuro de ganga mediante etapas de flotación posteriores. Los ejemplos de minerales de sulfuro mixtos de metales base susceptibles al proceso discutido aquí incluyen cobre-oro (por ejemplo, como calaverita (AuTe<sub>2</sub>) o silvanita (Au, Ag) Te<sub>2</sub>), cobre-oro-plata (por ejemplo, como acantita (Ag<sub>2</sub>S), silvanita (Au, Ag) Te<sub>2</sub>), pirargirita (Ag<sub>3</sub>SbS<sub>3</sub>) y proustita (Ag<sub>3</sub>AsS<sub>3</sub>)), plomo (por ejemplo, como galena (PbS), altaíta (PbTe), bournonita), (PbCuSbS<sub>3</sub>), jamesonita (Pb<sub>4</sub>FeSb<sub>6</sub>S<sub>14</sub>) y cilindrita (Pb<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>FeSb<sub>2</sub>S<sub>14</sub>)) - zinc (por ejemplo, como esfalerita (ZnS))-cobre, cobre-zinc y cobre-molibdeno. Los minerales de sulfuro masivos, por ejemplo, generalmente contienen sulfuros de tres o más metales valiosos, así como minerales de sulfuro de ganga, tal como la pirita.

La presente invención, en diversas realizaciones, configuraciones o aspectos, incluye componentes, métodos, procesos, sistemas y/o aparatos sustancialmente como se representa y describe aquí, incluyendo diversas realizaciones, configuraciones, aspectos, subcombinaciones y subconjuntos de los mismos. Los expertos en la técnica entenderán cómo realizar y usar la presente invención después de comprender la presente divulgación. La presente invención, en diversas realizaciones, configuraciones y aspectos, incluye proporcionar dispositivos y procesos en la ausencia de elementos no representados y/o descritos aquí o en diversas realizaciones, configuraciones o aspectos de los mismos, incluyendo en la ausencia de tales elementos como se puedan haber usado en dispositivos o procesos anteriores, por ejemplo, para mejorar el rendimiento, lograr facilidad y/o reducir el coste de implementación.

La discusión anterior de la invención se ha presentado con fines de ilustración y descripción. Lo anterior no pretende limitar la invención a la forma o formas divulgadas aquí. En la Descripción detallada anterior, por ejemplo, varias características de la invención se agrupan en una o más realizaciones, configuraciones o aspectos con el fin de simplificar la divulgación. Las características de las realizaciones, configuraciones o aspectos de la invención se pueden combinar en realizaciones alternativas, configuraciones o aspectos distintos a aquellos discutidos anteriormente. Este método de divulgación no debe interpretarse como un reflejo de la intención de que la invención reivindicada requiera más características de las que se mencionan expresamente en cada reivindicación. Más bien, como reflejan las siguientes reivindicaciones, los aspectos de la invención se encuentran en menos de todas las características de una única realización, configuración o aspecto anteriormente divulgados. Por lo tanto, las siguientes reivindicaciones se incorporan aquí en esta Descripción detallada, cada una de las reivindicaciones se destaca por sí misma como una realización preferida separada de la invención.

Además, aunque la descripción de la invención ha incluido una descripción de una o más realizaciones, configuraciones o aspectos y ciertas variaciones y modificaciones, otras variaciones, combinaciones y modificaciones están dentro del alcance de la invención, por ejemplo, como puede estar dentro de la habilidad y el conocimiento de los expertos en la técnica, después de comprender la presente divulgación. Se pretende obtener derechos que incluyan realizaciones, configuraciones o aspectos alternativos en la medida en que lo permitan,

incluyendo estructuras, funciones, intervalos o pasos alternativos, intercambiables y/o equivalentes a los reivindicados, sean o no alternativos, las estructuras, funciones, intervalos o pasos intercambiables y/o equivalentes se divulgan aquí, y sin la intención de dedicar públicamente ningún objeto patentable.

**REIVINDICACIONES**

1. Un proceso, que comprende:

5 proporcionar un material de alimentación que contiene metal valioso en pasta que comprende al menos uno de un mineral de sulfuro de cobre y sulfuro de molibdeno como un mineral de sulfuro de metal valioso, en el que el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta comprende:

10 i) uno o más de agua salobre y agua salada; y

ii) un mineral de sulfuro de ganga que comprende pirita;

airear, con un gas que contiene oxígeno molecular, donde el material de alimentación contiene metal valioso en pasta para formar un material de alimentación en pasta aireado;

15 después de ello poner en contacto el material de alimentación en pasta aireado con un reactivo de sulfoxi para formar un material de alimentación en pasta tratado; y

20 hacer flotar el material de alimentación en pasta tratado para formar un concentrado que comprende al menos la mayor parte del al menos uno de un mineral de sulfuro de cobre y sulfuro de molibdeno en el material de alimentación en pasta aireado y relaves que comprende el mineral de sulfuro de ganga en el material de alimentación en pasta aireado.

25 2. El proceso de la reivindicación 1, en el que, antes del paso de flotación, el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta no se pone en contacto con un gas no oxidante generado externamente para disminuir un contenido de oxígeno molecular disuelto del material de alimentación que contiene metal valioso en pasta.

30 3. El proceso de la reivindicación 1, en el que al menos uno de un sulfuro de cobre y sulfuro de molibdeno es un sulfuro de cobre y en el que al menos aproximadamente 50 g/t del reactivo de sulfoxi se añade al material de alimentación que contiene metal valioso en pasta.

35 4. El proceso de la reivindicación 1, en el que el paso de flotación es una flotación de limpieza, en el que el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta es un concentrado más burdo de una flotación más áspera, en el que al menos uno de un sulfuro de cobre y sulfuro de molibdeno es un sulfuro de cobre, en el que el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta está libre de contacto con un reactivo de sulfoxi antes de la flotación más áspera, en el que el concentrado más burdo se somete a trituración secundaria antes del paso de flotación, en el que el material de alimentación en pasta tratado tiene un pH menor a pH 8, y en el que el reactivo de sulfoxi se pone en contacto con el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta durante la trituración secundaria y después de la aireación.

40 5. El proceso de la reivindicación 1, en el que el material de alimentación en pasta aireado tiene un contenido de oxígeno molecular disuelto de más de 2 ppm en el siguiente paso de contacto, en el que el reactivo de sulfoxi es uno o más de un amonio, hidrógeno, sulfito de metal alcalino o alcalinotérreo, bisulfito y metabisulfito, en el que el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta no tiene ajuste de pH antes y durante la flotación, en el que uno o más del agua salobre y agua salada tienen al menos una salinidad de aproximadamente 0.01% o más y un total de sólidos disueltos de al menos aproximadamente 10,000 mg/L, y en el que la flotación se realiza a un pH natural del material de alimentación tratado en pasta.

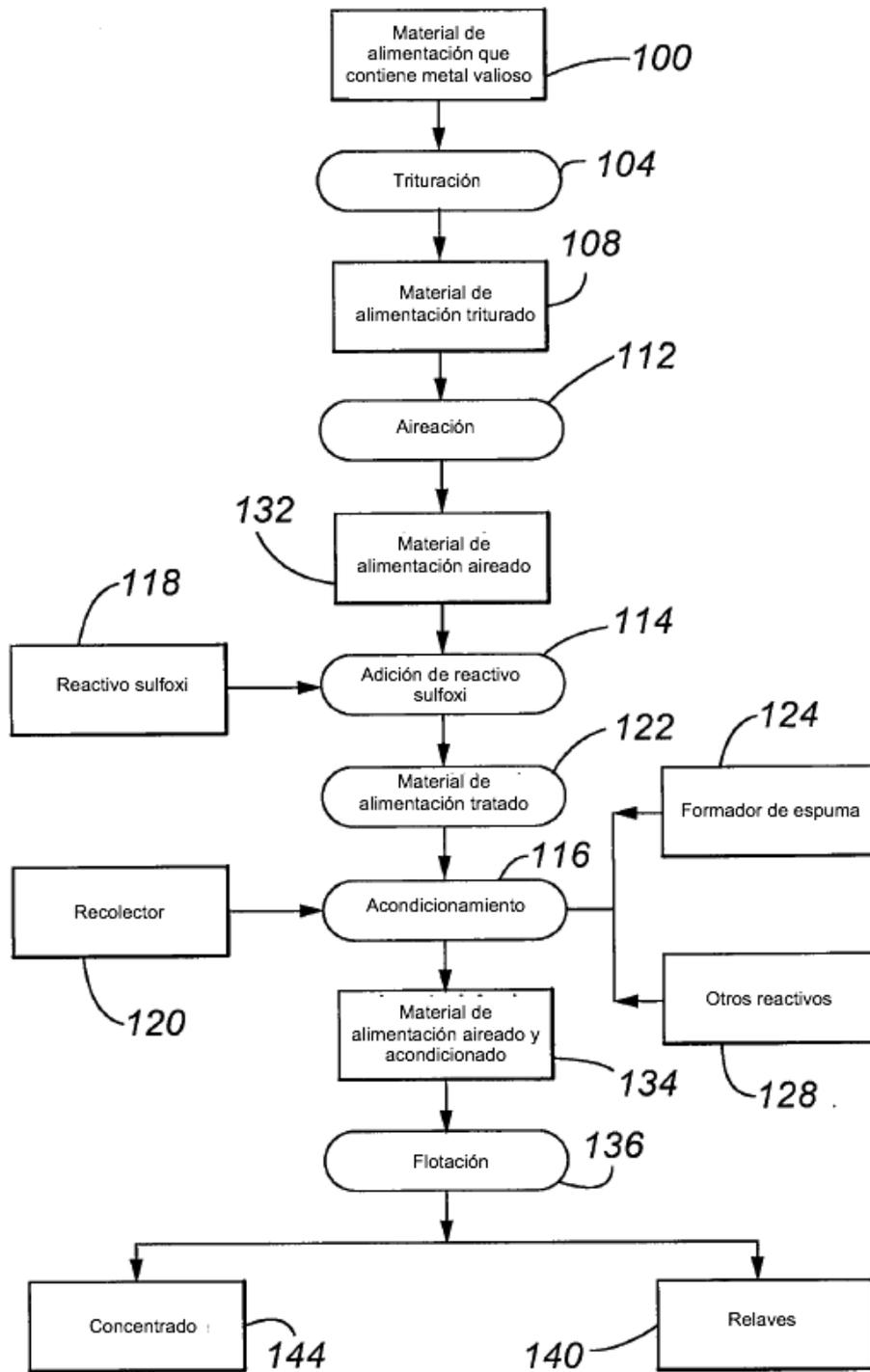
45 6. El proceso de la reivindicación 1, en el que, el uno o más de agua salobre y agua salada tiene al menos una salinidad de aproximadamente 0.01% o más y un total de sólidos disueltos de al menos aproximadamente 10,000 mg/L.

50 7. El proceso de la reivindicación 6, en el que al menos uno de un sulfuro de cobre y sulfuro de molibdeno es un sulfuro de cobre, y un segundo sulfuro es un mineral de sulfuro de hierro, en el que el mineral de sulfuro de hierro es al menos uno de marcasita, arsenopirita, y pirrotita, en el que el paso de flotación es una flotación de limpieza, en el que el reactivo de sulfoxi se agrega a una solución derivada del material de alimentación en pasta aireado en un molino, en el que el molino está en un circuito de molienda, en el que el material de alimentación que contiene metal valioso es un concentrado más burdo de una flotación más áspera, en el que el material de alimentación que contiene metal valioso está libre de contacto con un reactivo de sulfoxi antes de la flotación más áspera, y en el que se agrega más de 200 g/t de reactivo de sulfoxi al material de alimentación que contiene metal valioso.

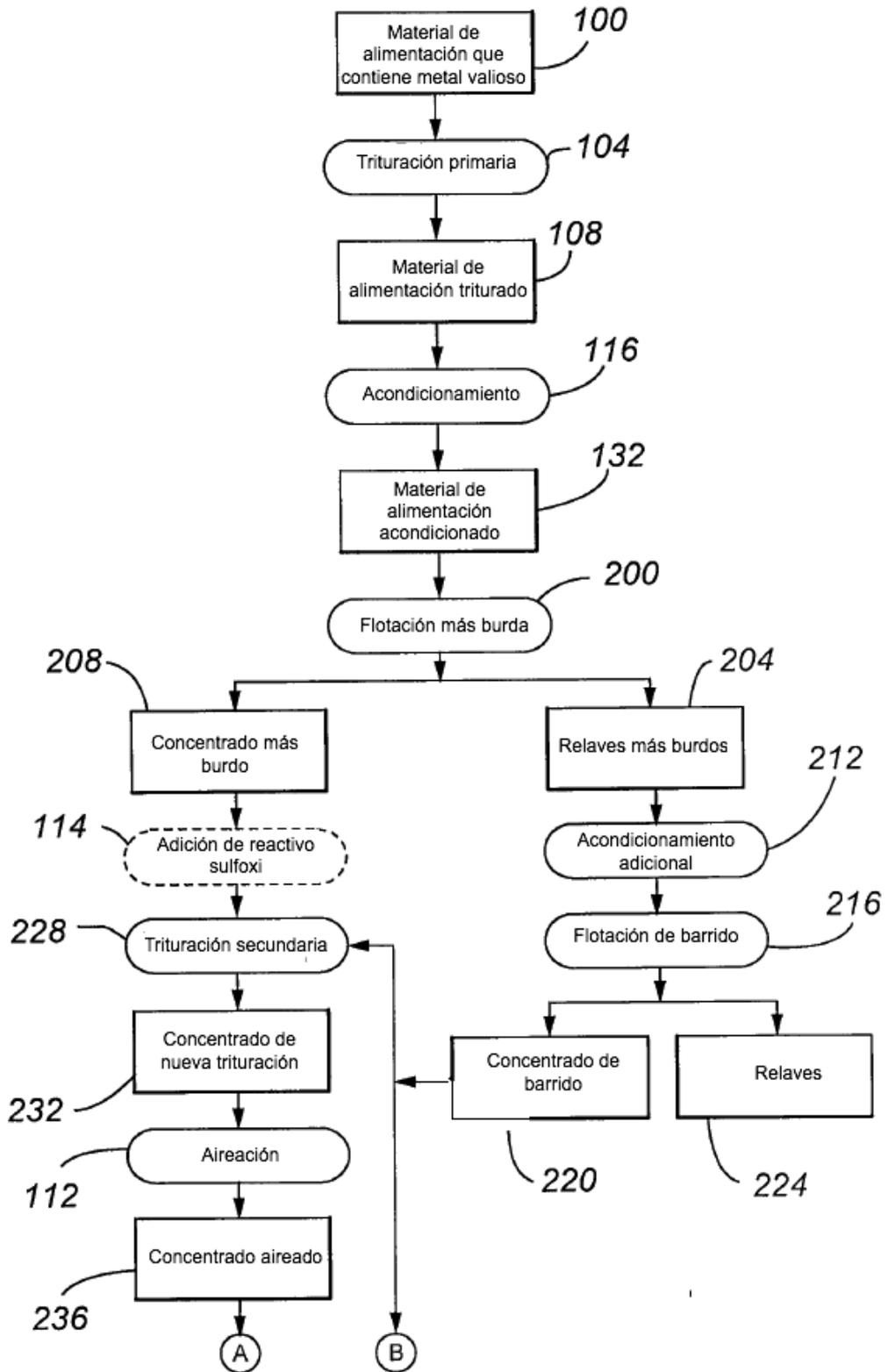
55 8. El proceso de la reivindicación 6, en el que, antes del paso de flotación, el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta no se pone en contacto con un gas no oxidante generado externamente para disminuir un contenido de oxígeno molecular disuelto del material de alimentación que contiene metal valioso en pasta.

65

- 5 9. El proceso de la reivindicación 6, en el que el al menos uno de un sulfuro de cobre y sulfuro de molibdeno es un sulfuro de cobre, y un segundo mineral de sulfuro comprende un metal valioso distinto del cobre y molibdeno, en el que el material de alimentación en pasta aireado es al menos una porción del material de alimentación que contiene metal valioso en pasta, en el que al menos aproximadamente 100 g/t de reactivo de sulfoxi se agrega al material de alimentación que contiene metal valioso en pasta, y en el que un contenido de oxígeno molecular disuelto del material de alimentación en pasta aireado está en al menos aproximadamente 5 ppm.
- 10 10. El proceso de la reivindicación 6, en el que un contenido de oxígeno molecular disuelto del material de alimentación que contiene metal valioso en pasta durante el paso de contacto es más de 2 ppm.
- 15 11. El proceso de la reivindicación 6, en el que el al menos uno de un sulfuro de cobre y sulfuro de molibdeno es un sulfuro de cobre, y un segundo mineral de sulfuro comprende un metal valioso distinto del cobre y molibdeno, en el que el reactivo de sulfoxi es uno o más de amonio, hidrógeno, sulfito de metal alcalino o alcalinotérreo, bisulfito y metabisulfito, en el que al menos aproximadamente 50 g/t de reactivo de sulfoxi se agrega al material que contiene metal valioso en pasta, y en el que el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta esta libre de ajuste de pH antes y durante la flotación.
- 20 12. El proceso de la reivindicación 6, en el que el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta y el material de alimentación en pasta aireado están libres de modificación de pH antes del paso de flotación, en el que al menos uno de un sulfuro de cobre y sulfuro de molibdeno es un sulfuro de cobre, en el que el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta comprende además un mineral de ganga sulfurosa, en el que el mineral de ganga sulfurosa es al menos uno de marcasita, arsenopirita y pirrotita, en el que los relaves comprenden además el mineral de ganga sulfurosa y, en el que el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta y el material de alimentación en pasta aireado están a su pH natural, en el que, antes del paso de flotación, el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta no se pone en contacto con un gas no oxidante generado externamente para reducir el contenido de oxígeno molecular disuelto del material de alimentación que contiene metal valioso en pasta, y en el que el material de alimentación en pasta aireado tiene un pH inferior a aproximadamente pH 8.5.
- 25 30 13. El proceso de la reivindicación 6, en el que al menos uno de un sulfuro de cobre y sulfuro de molibdeno es un sulfuro de cobre, en el que el material de alimentación en pasta aireada tiene un pH inferior a pH 8,5, en el que un contenido de oxígeno molecular disuelto del material de alimentación en pasta aireada durante el paso de contacto es más de 2 ppm, en el que el paso de flotación es una flotación de limpieza, en el que el reactivo de sulfoxi se agrega a una solución derivada del material de alimentación en un molino, en el que el molino está en un circuito de trituración nuevamente, en el que el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta es un concentrado más burdo de una flotación más burda, y en el que el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta está libre de contacto con un reactivo de sulfoxi antes de la flotación más burda, en el que el reactivo de sulfoxi es uno o más de un amonio, hidrógeno, sal de sulfito de metal alcalino o alcalinotérreo, bisulfito y metabisulfito, en el que se agregan más de 100 g/t del reactivo de sulfoxi al material de alimentación que contiene metal valioso en pasta, y en el que el material de alimentación que contiene metal valioso en pasta está libre de ajuste de pH antes y durante la flotación.
- 35 40



**Fig. 1**



**Fig. 2A**

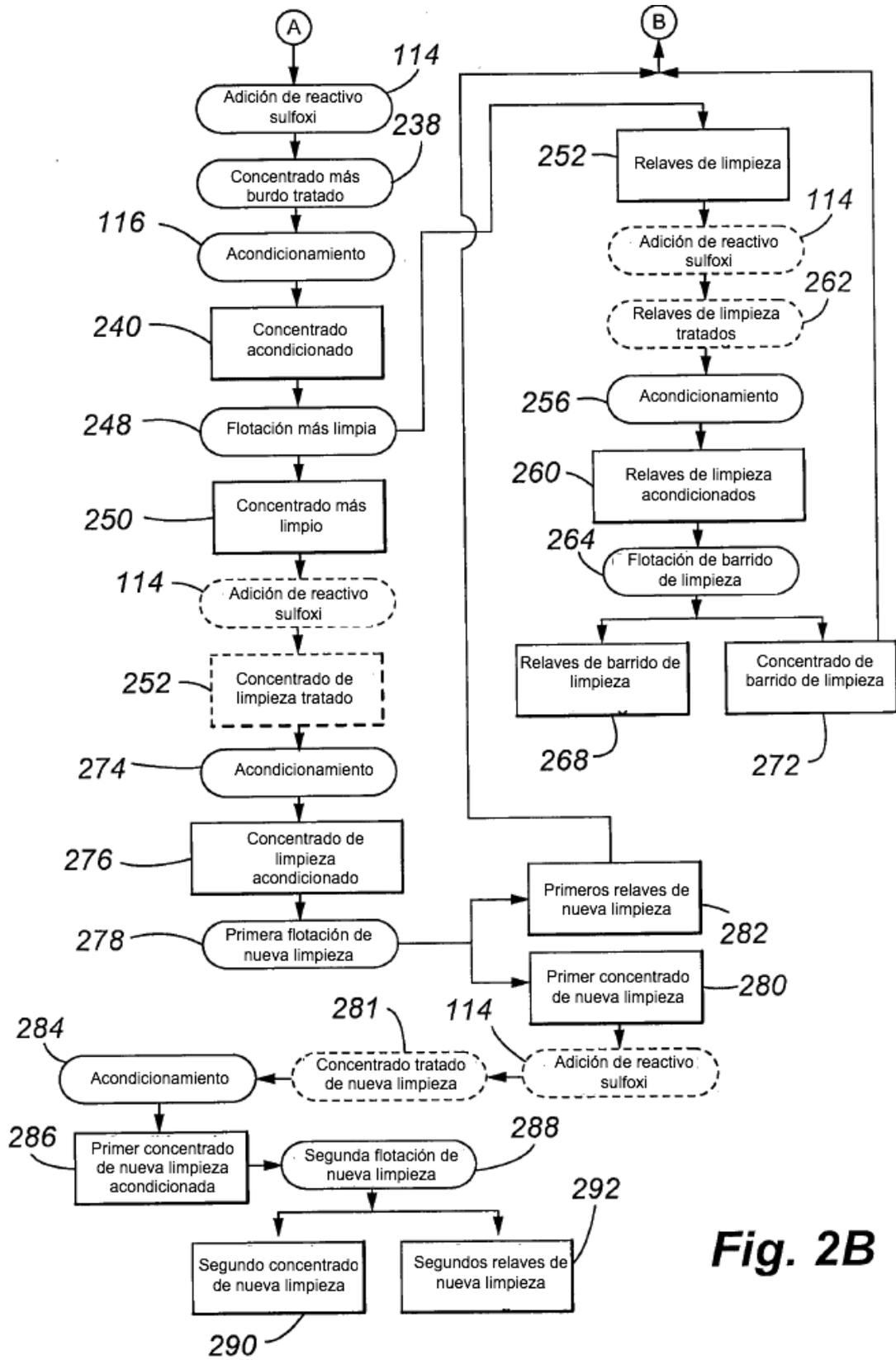
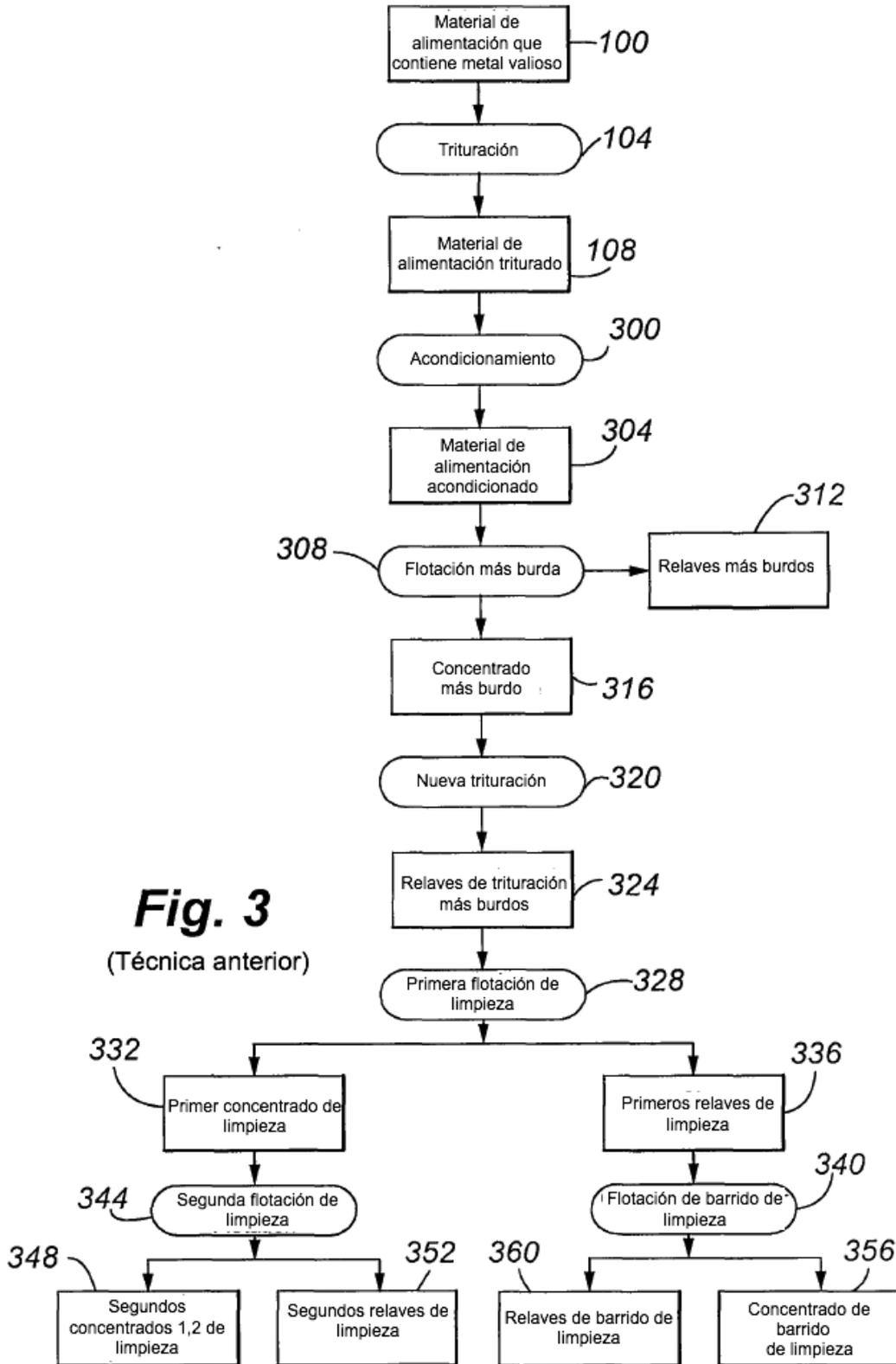


Fig. 2B



**Fig. 4**

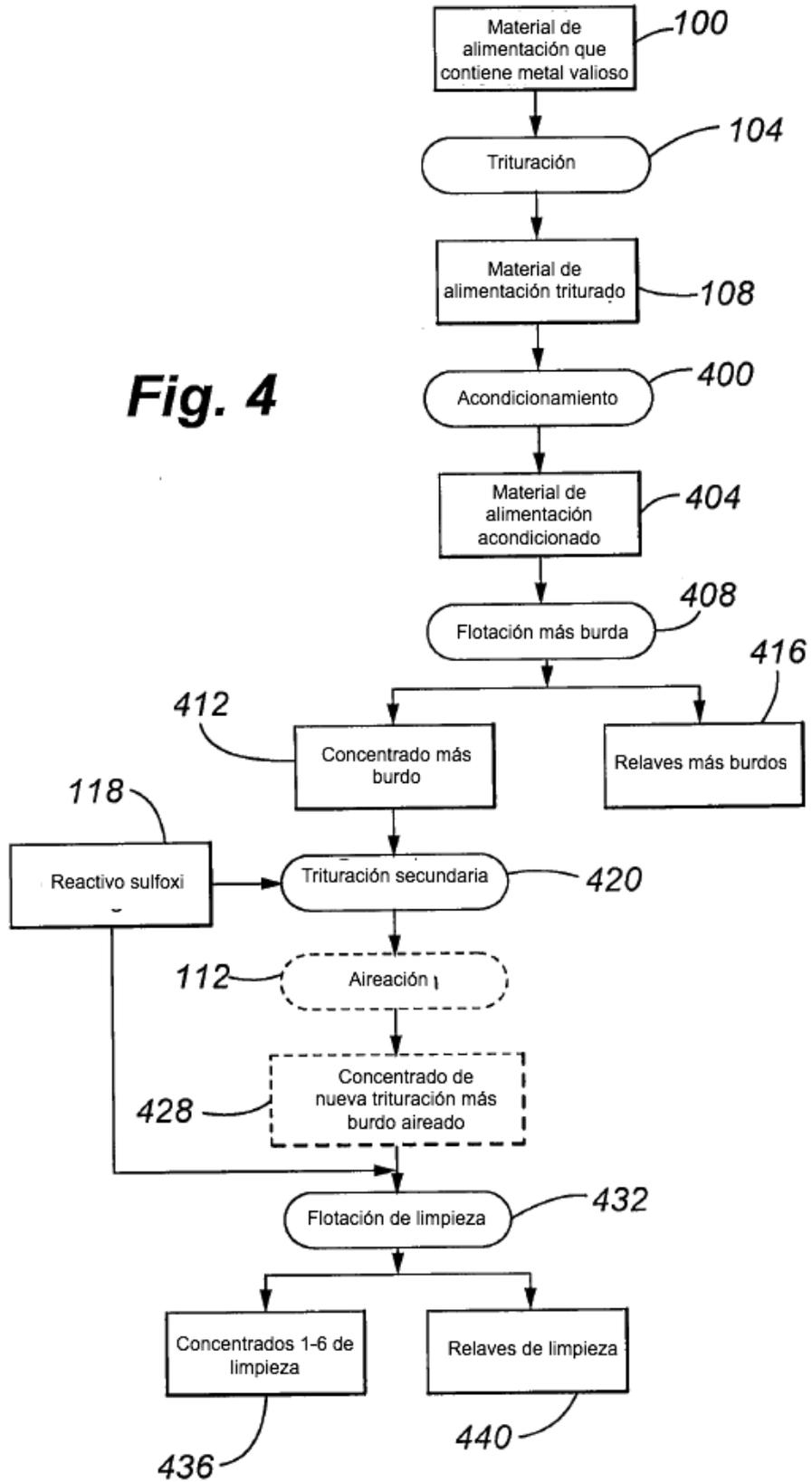


Figura 5: Curva de recuperación de grado de cobre para varios esquemas de reactivos de flotación en agua de grifo

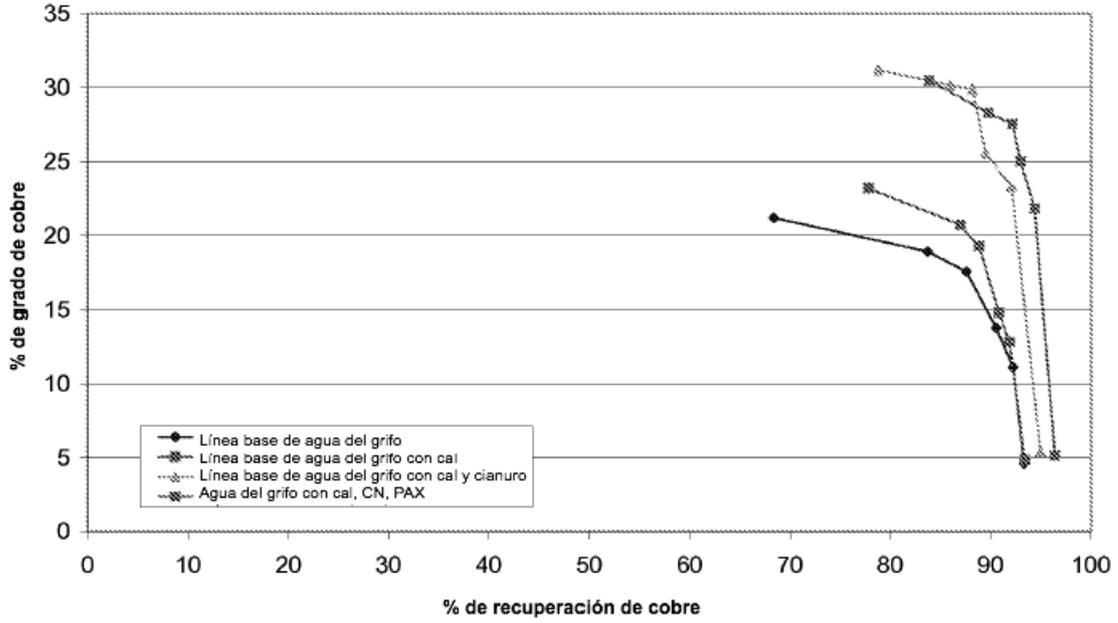


Figura 6: Curva de recuperación de grado de cobre para varios esquemas de reactivos de flotación en agua salada

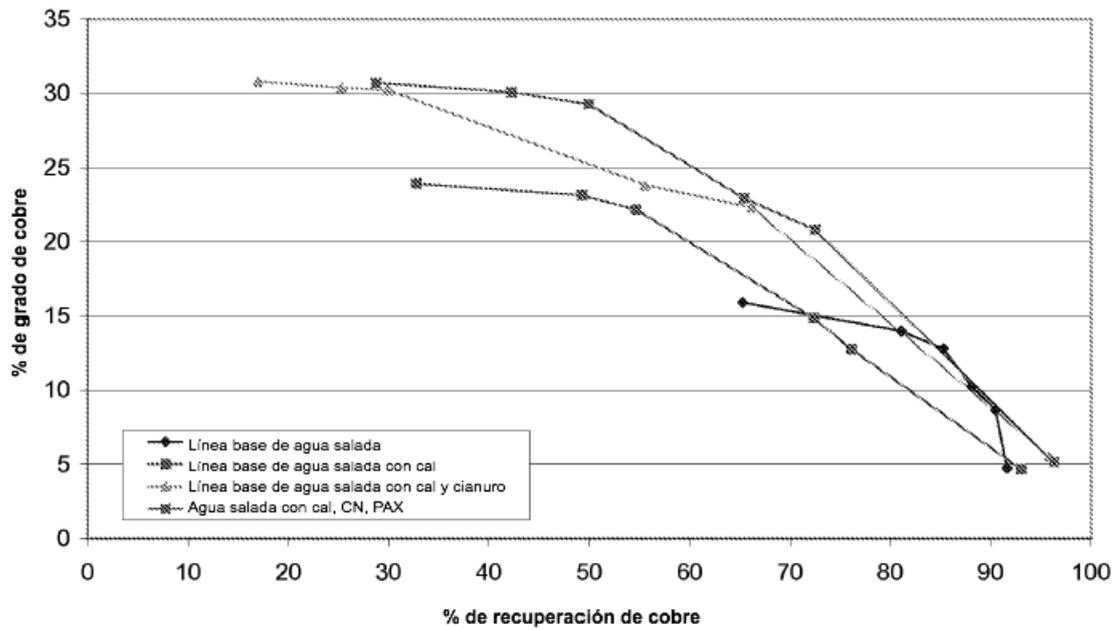


Figura 7: Curva de recuperación de grado de cobre para varios esquemas de reactivos de flotación en agua del grifo, adición de MBS con y sin aireación

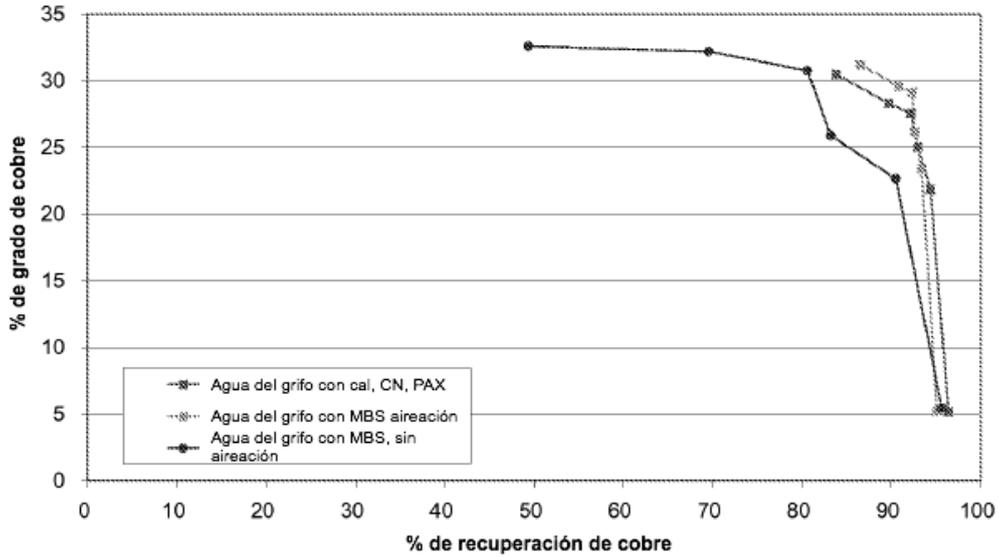


Figura 8: Curva de recuperación de grado de cobre para varios esquemas de reactivos de flotación en agua salada, adición de MBS con y sin aireación

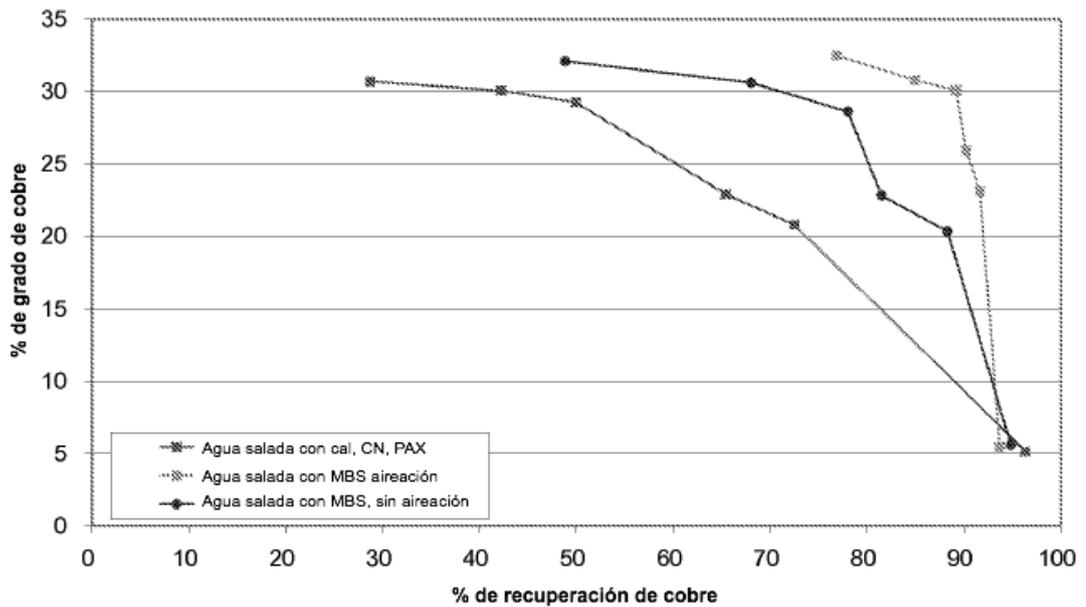


Figura 9: Curva de recuperación de grado de cobre en agua salada y del grifo con MBS con y sin aireación después de la adición de MBS

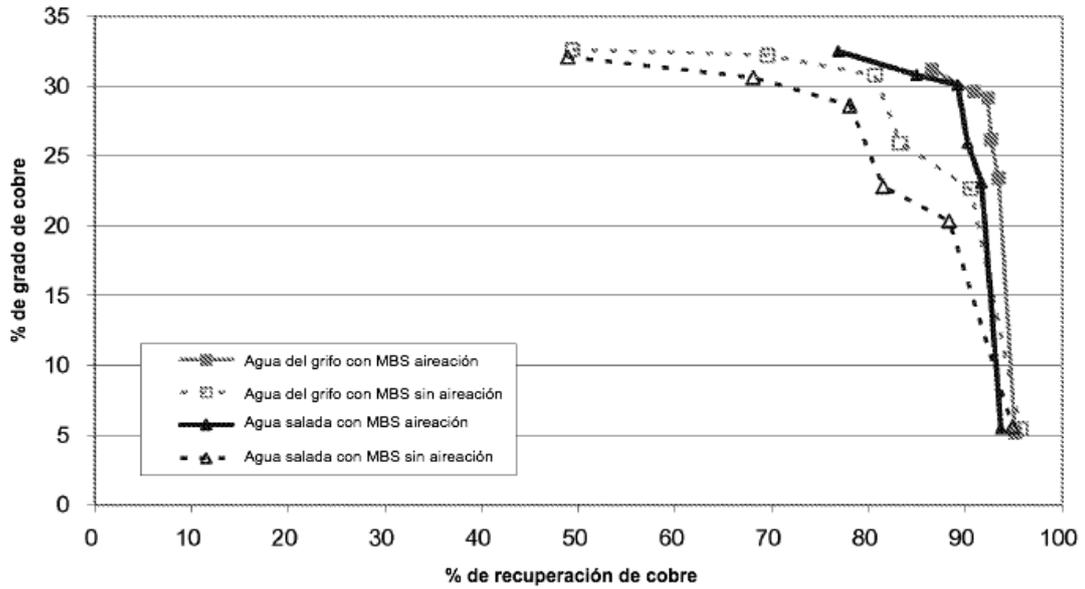


Figura 10: Curva de recuperación de grado de cobre en agua del sitio y grifo con MBS con y sin aireación después de la adición de MBS

