(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 700 625**

(51) Int. CI.:

C01G 23/047 (2006.01)
C22B 1/02 (2006.01)
C22B 34/12 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.01.2008 PCT/US2008/052276**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **02.10.2008 WO08118527**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.01.2008 E 08728434 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018 EP 2139814**

(54) Título: **Beneficio de minerales titaníferos**

(30) Prioridad:

26.03.2007 US 728446

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.02.2019

(73) Titular/es:

UNIVERSITY OF LEEDS (100.0%)
Leeds, LS2 9JT, GB

(72) Inventor/es:

JHA, ANIMESH;
KUMARI, EPHRAIM JEYA y
LAHIRI, ABHISHEK

(74) Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

Observaciones:

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

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

Beneficio de minerales titaníferos

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento para beneficio de un mineral titanífero.

Antecedentes de la invención

El dióxido de titanio (TiO_2) se produce comercialmente mediante el procedimiento de sulfato o el procedimiento de cloruro. En el procedimiento de cloruro, las materias primas que contienen titania se cloran para formar tetracloruro de titanio que luego se oxida para formar TiO_2. Este procedimiento funciona de manera más eficiente a partir de materias primas que contienen titania que tienen un alto contenido de TiO_2. Debido al crecimiento constante en los mercados de TiO_2, los suministros existentes de materias primas que contienen titania, como la ilmenita y los rutilos naturales, están bajo presión. Los nuevos depósitos de arena/aluviales en playa son de calidad variable y muchos no son adecuados para mejorar y ejecutar el beneficio usando los procedimientos comerciales existentes.

Diversos minerales titaníferos tienen altas concentraciones de zircón y minerales de monazita debido a su proximidad geológica. Las impurezas de zircón y monazita en la materia prima reducen su valor de mercado. Las impurezas de actínidos y lantánidos crean problemas operativos (por ejemplo, alto consumo de cloro o lechos pegajosos) y generan desechos peligrosos con altas concentraciones de actínidos, lantánidos y otros metales pesados. Debido a las estrictas regulaciones ambientales en muchos países, el tratamiento y la eliminación de dichos desechos peligrosos de las plantas de procesamiento de cloruros y sulfatos ha dado como resultado un aumento en el coste del tratamiento y la gestión de desechos.

Se han desarrollado muchos procedimientos de beneficio diferentes para mejorar el contenido de TiO_2 de minerales titaníferos. Los procedimientos convencionales incluyen procedimientos físicos tales como separación gravitacional, magnética y eléctrica que se utilizan para separar la magnetita, monazita, zircón y otras gangas silíceas. Otros procedimientos convencionales son los procedimientos químicos, como la lixiviación ácida y la formación de escoria de TiO_2 (reducción a alta temperatura), como el procedimiento de Becher, que se utiliza principalmente para eliminar el hierro.

Desafortunadamente, estos procedimientos convencionales requieren minerales de ilmenita de alta calidad. Los minerales que contienen monazita, zircón y actínidos no se reducen incluso a altas temperaturas debido a los metales pesados unidos como fosfatos. El nivel de impurezas críticas como Cr_2O_3, V_2O_5, Nb_2O_5 (que degradan las propiedades de los pigmentos) y CaO, Al_2O_3 y SiO_2 (que crean problemas operativos como lechos pegajosos) sigue siendo muy alto en el producto final. Además, las impurezas de soluto (Fe, Nb, U, Th, Ce) en las fases de TiO_2 (pseudorrutilo, ilmenita, anatasa) permanecen en la materia prima y terminan en la corriente de desechos del procedimiento de fabricación de TiO_2 de grado pigmento (cloración o sulfatación).

El procedimiento de formación de escoria (que es la principal fuente de materia prima para la fabricación de TiO_2 de grado pigmento) separa solo los óxidos de hierro, y la mayoría de las otras impurezas permanecen en la materia prima. El procedimiento de escoria también enfrenta incertidumbre debido a su alto consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero durante la fundición en arco eléctrico.

En vista de las fuentes cambiantes (depósitos) de minerales de TiO_2 y las preocupaciones medioambientales en relación con la eliminación de desechos, existe la necesidad de un enfoque más ambientalmente aceptable para el beneficio de los minerales titaníferos. Se ha descrito la calcinación de ilmenita con soda, principalmente en una atmósfera reductora con carbono (El-Tawil et al., Alkali reductive roasting of ilmenite ore, Canadian Metallurgical Quarterly, 1996, 35(1), 31-37). Sin embargo, el rendimiento de TiO_2 en esta técnica no es muy alto (<90 % en peso) y el hierro no se separa en forma metálica ni se produce un producto lixiviable. La Patente de los Estados Unidos No. 6,346,223 enseña técnicas de calcinación alcalina oxidativa. Sin embargo, el rendimiento de TiO_2 y la separación de actínidos y lantánidos está por debajo de los niveles requeridos para el procedimiento con cloruro.

El documento WO 2004/113230 describe un procedimiento para beneficiar un mineral titanífero calcinando ilmenita, carbonato de sodio y alúmina en presencia de aire, lixiviando la mezcla de mineral calcinado con agua y poniendo en contacto el mineral lixiviado con ácido clorhídrico. En resumen, existe la necesidad de desarrollar procedimientos para beneficiar los minerales titaníferos para producir minerales beneficiados con alto contenido de titania y bajos niveles de impureza. La presente invención proporciona tal procedimiento mejorado.

Sumario de la invención

La invención es un procedimiento para beneficiar un mineral titanífero. El procedimiento comprende la calcinación del mineral titanífero, al menos una sal de metal alcalino o alcalinotérreo, y al menos un material que contiene alúmina en presencia de oxígeno para formar una mezcla de mineral calcinado. La mezcla de mineral calcinado luego se lixivia con una solución que contiene cloruro de amonio y ácido acético, ácido fórmico o ácido oxálico en

presencia de oxígeno, y preferiblemente un compuesto que contiene oxígeno, para formar una mezcla de mineral lixiviado, que luego se pone en contacto con un ácido para formar el mineral beneficiado, como se describe en la reivindicación 1. El procedimiento de la invención produce un alto contenido de titania al tiempo que reduce significativamente los niveles de impureza en el mineral beneficiado.

Descripción detallada de la invención

El procedimiento de la invención es un procedimiento para beneficiar minerales titaníferos. Los minerales titaníferos útiles en el procedimiento de la invención incluyen minerales que contienen titania que contienen hierro y otras impurezas. El mineral titanífero puede ser sintético, pero es preferiblemente natural como un polvo, mena, mineral o una mezcla de los mismos. Los minerales preferidos incluyen ilmenita, anatasa, arenas de playa de ilmenita, escoria titanífera de grado bajo, rutilo natural o perovskita. Preferiblemente, el mineral titanífero tiene concentraciones de TiO_2 entre 40 y 75 por ciento en peso de TiO_2, pero el procedimiento es útil para minerales con mayor contenido de titania. El procedimiento de la invención es particularmente útil para el beneficio de minerales titaníferos que contienen impurezas adicionales tales como alúmina, sílice, fosfatos, metales alcalinotérreos y metales de tierras raras y radioactivos.

Un mineral titanífero de este tipo es el TiO_2 de anatasa de origen natural. Otros tipos de mineral incluyen, pero no se limitan a escorias, como las que contienen altos niveles de calcio y magnesio, y se encuentran, por ejemplo, en Noruega, Suecia, Canadá y China; arenas bituminosas, como las que contienen niveles relativamente altos de tierras alcalinas y SiO_2 y están, por ejemplo, ubicadas en Alberta, Canadá; y otros tipos de minerales titaníferos de origen natural, como los bien conocidos depósitos de ilmenita. Los minerales titaníferos preferidos incluyen mineral anatasa e ilmenita.

El procedimiento de la invención comprende primero calcinar una mezcla del mineral titanífero, al menos una sal de metal alcalino o alcalinotérreo, y al menos un material que contiene alúmina en presencia de oxígeno para formar una mezcla de mineral calcinado. La mezcla del mineral titanífero, al menos una sal de metal alcalino o alcalinotérreo, y al menos un material que contiene alúmina se mezcla típicamente para formar una mezcla homogénea para la calcinación. Los procedimientos para mezclar sólidos para producir mezclas homogéneas son bien conocidos por los expertos en la materia.

La calcinación se lleva a cabo preferiblemente a una temperatura en el intervalo de 200 ºC a 1200 ºC, más preferiblemente de 300 ºC a 1100 ºC, y lo más preferiblemente de 800 ºC a 1000 ºC. La calcinación se puede realizar en cualquier aparato de calcinación convencional, por ejemplo, un horno de cochura rotatorio convencional, un horno de núcleo rotatorio o un autoclave. La duración del tiempo de calcinación no es particularmente crítica, siempre que se alcance y mantenga la temperatura deseada durante un tiempo mínimo que permita que el hierro y los minerales no ferrosos se eliminen durante la etapa de lixiviación química. Preferiblemente, el tiempo de calcinación es mayor que 0,5 horas y más preferiblemente mayor que 1 hora.

El material que contiene alúmina es cualquier compuesto sólido que contiene un óxido de aluminio. Preferiblemente, el material que contiene alúmina es alúmina, hidróxido de aluminio, arcilla que contiene alúmina, aluminato de metal alcalino (por ejemplo, $NaAlO_2$), o mezclas de los mismos. La cantidad de material que contiene alúmina en la mezcla se selecciona en función de la proporción de mineral titanífero: sales alcalinas o alcalinotérreas, y la concentración de diversas impurezas (principalmente óxidos de hierro, silicatos y fosfatos). El material que contiene alúmina está presente preferiblemente en la mezcla en una cantidad en el intervalo de 5 a 30 % en peso del mineral titanífero, más preferiblemente 10 a 25 % en peso, y lo más preferiblemente 15 a 22 % en peso del mineral titanífero.

La sal de metal alcalino o alcalinotérreo es cualquier sal que contenga un metal alcalino o alcalinotérreo. Preferiblemente, la sal es un bicarbonato, carbonato, hidróxido o sulfato de metal alcalino o alcalinotérreo. Más preferiblemente, la sal alcalina es $NaHCO_3$, $KHCO_3$, $LiHCO_3$, $NaHSO_4$, $KHSO_4$, Na_2CO_3, K_2CO_3, Li_2CO_3, LiOH, NaOH o KOH. Más preferiblemente, la sal alcalina es bicarbonato de sodio o potasio.

En una realización de la invención, la sal de metal alcalino o alcalinotérreo es una mezcla de una sal de metal alcalino y un material que contiene óxido de calcio. La sal de metal alcalino es preferiblemente $NaHCO_3$, $KHCO_3$, $LiHCO_3$, $NaHSO_4$, $KHSO_4$, Na_2CO_3, K_2CO_3, Li_2CO_3, LiOH, NaOH o KOH; y el material que contiene óxido de calcio es preferiblemente óxido de calcio, hidróxido de calcio, o una mezcla de los mismos.

La cantidad de sal de metal alcalino o alcalinotérreo variará dependiendo de la cantidad de TiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3, SiO_2 y P_2O_5 presentes en el mineral. Dependiendo del nivel de impurezas, la cantidad de sal de metal alcalino o alcalinotérreo es típicamente de 100 a 300 por ciento en peso del peso del mineral. Si se usa un material que contiene óxido de calcio, preferiblemente la cantidad de material que contiene óxido de calcio está presente en una cantidad en el intervalo de 0,1 a 5 por ciento en peso del mineral titanífero, más preferiblemente 2 a 3 por ciento en peso del mineral titanífero.

La etapa de calcinación se realiza en presencia de oxígeno. El oxígeno puede ser oxígeno puro, pero preferiblemente es un gas que contiene oxígeno, como aire, oxígeno en nitrógeno u oxígeno en otros tales gases o mezclas de gases.

Sin pretender limitarse a ninguna teoría, se cree que la tendencia a la descomposición térmica de la sal alcalina o alcalinotérrea crea estados nacientes de alcalinos/alcalinotérreos en la interfaz mineral-álcali, que parece esencial para lograr un mayor porcentaje de rendimiento de TiO_2. Además, se cree que el vapor generado por la descomposición de las sales alcalinas o alcalinotérreas se descompone para formar iones hidrógeno e hidróxido (H^+ + OH^-). El vapor ejerce presión sobre el sistema y obliga al grupo hidroxilo a penetrar en los granos de mineral titanífero, lo que debilita los enlaces existentes en el mineral y aumenta la reacción de intercambio entre el hierro y los iones alcalinos (alcalinotérreos).

Por lo tanto, a medida que el evento de reacción avanza con una sal de sodio, se cree que el sodio entra en contacto más cercano con el mineral titanífero a alta temperatura, se distorsiona y comienza a intercambiar o descartar átomos. El contacto más cercano del sodio con el mineral titanífero se ejerce aún más debido a la liberación de vapor a alta presión de vapor debido a la descomposición de la sal (por ejemplo, bicarbonatos e hidróxidos). Como resultado, la energía potencial aumenta a un máximo y los átomos se agrupan y crean una región compleja activada. Luego, la energía potencial cae a medida que los átomos se reorganizan en el grupo, para formar productos tales como ferrita de sodio y titanato de sodio, respectivamente. El clímax de la reacción tiene lugar en la región de alta energía potencial, donde hay alto grado de cercanía de los reactivos y distorsión, que se denomina estado de transición.

Durante la reacción, se cree además que el material que contiene alúmina reacciona con la sal alcalina (alcalinotérrea) y forma fases complejas de óxido (por ejemplo, fases de Na-Al-Si-M-O) que aumentan la solubilidad y estabilidad de ferritas, tales como ferritas de sodio. Esta compleja fase de sal ayuda a separar los óxidos de hierro de la composición que contiene óxido de titanio.

Después de la calcinación, la mezcla de mineral calcinado se lava preferiblemente con agua antes de la etapa de lixiviación. El lavado con agua produce un residuo sustancialmente insoluble. Los compuestos alcalinos o alcalinotérreos solubles en agua tales como ferritas, aluminato, silicato, cromato, vanadato y fosfato de metal (por ejemplo, sodio) pueden disolverse en la solución acuosa. Si la mezcla de mineral calcinado se lava con agua, el residuo de mineral insoluble se elimina de la fase acuosa por cualquier medio adecuado antes de la etapa de lixiviación. Los procedimientos para separar el mineral calcinado de la fase acuosa son bien conocidos por los expertos en la materia e incluyen, entre otros, la filtración, la sedimentación y el uso de hidrociclones.

Después de la calcinación y, opcionalmente, el lavado, la mezcla de mineral calcinado se lixivia con una solución que comprende cloruro de amonio en presencia de oxígeno para formar una mezcla de mineral lixiviada y una primera fase líquida. La lixiviación puede ocurrir a temperatura ambiente o elevada. Preferiblemente, el mineral titanífero se lixivia poniendo en contacto el mineral a una temperatura de al menos 35 ºC. La lixiviación ocurre preferiblemente durante un tiempo de reacción de 10 minutos a 24 horas, más preferiblemente de 2 a 8 horas. La lixiviación se realiza preferiblemente mientras se mezcla la combinación de mineral y solución, utilizando cualquier medio de mezcla adecuado, como un agitador mecánico.

La lixiviación se produce en presencia de oxígeno. El oxígeno puede ser oxígeno puro, pero preferiblemente es un gas que contiene oxígeno, como aire, oxígeno en nitrógeno u oxígeno en otros gases o mezclas de gases. Preferiblemente, el oxígeno está en forma de aire. Más preferiblemente, el aire se burbujea a través de la solución durante la etapa de lixiviación.

La lixiviación se realiza con una solución que comprende cloruro de amonio. Preferiblemente, la solución también contiene 0,5 a 2 % en peso de un compuesto que contiene oxígeno. El compuesto que contiene oxígeno puede ser metanol, etanol, acetona, glicol, glicerol, sacarosa, glucosa, fructosa, glioxal, acetaldehído, formaldehído o mezclas de los mismos. Preferiblemente, el compuesto que contiene oxígeno es metanol y/o acetona. El pH de la solución está en el rango de 3,5 a 4,5. El pH en el rango de 3,5-4,5 se obtiene mediante la adición de un ácido débil. Normalmente, solo se necesitará una cantidad mínima de ácido débil para ajustar el pH. El ácido débil es ácido acético, ácido fórmico o ácido oxálico.

Durante la etapa de lixiviación, el óxido de hierro del mineral calcinado forma un complejo con iones de amonio y precipita como hidróxido de hierro. La etapa de lixiviación produce una mezcla de mineral lixiviado y una primera fase líquida. La primera fase líquida contiene cloruro de amonio, iones metálicos y solución de ácido acético que se puede reutilizar para el procedimiento de lixiviación.

La mezcla de mineral lixiviado se separa preferiblemente de la primera fase líquida y se lava bien con agua para eliminar el hidróxido de hierro formado. Los procedimientos para separar la mezcla de mineral lixiviado de la primera fase líquida son bien conocidos por los expertos en la técnica e incluyen, entre otros, la filtración, la sedimentación y el uso de hidrociclones.

El mineral lixiviado se pone en contacto con un ácido para formar un mineral beneficiado y una segunda fase líquida. El contacto puede realizarse a temperatura ambiente o elevada. Preferiblemente, la temperatura es mayor que 35ºC, más preferiblemente de 40 a 80ºC. El tiempo de contacto es preferiblemente de 10 minutos a 24 horas, más preferiblemente de 2 a 6 horas. El contacto se realiza preferiblemente con mezcla, utilizando cualquier medio de mezcla adecuado, tal como un agitador mecánico.

El ácido es preferiblemente ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido acético, ácido fórmico o mezclas de los mismos; más preferiblemente el ácido es ácido clorhídrico.

La etapa de contacto produce una mezcla de mineral beneficiado y una segunda fase líquida. La segunda fase líquida contiene cloruro de hierro.

Preferiblemente, el mineral beneficiado se separa de la segunda fase líquida y luego se lava con agua. Los procedimientos para separar el mineral beneficiado de la segunda fase líquida son bien conocidos por los expertos en la materia e incluyen, entre otros, la filtración, la sedimentación y el uso de hidrociclones. El mineral beneficiado se seca preferiblemente antes del envío. Se prefiere calcinar el producto de mineral beneficiado en presencia de aire y calor para eliminar el agua unida y descomponer las sales y ácidos residuales, generando así un producto final de rutilo sintético. El rutilo sintético final se puede utilizar como alimentación para los cloradores de lecho fluido.

El procedimiento de la invención se puede usar para producir un rutilo sintético de alto grado que tiene un contenido de TiO_2 de > 95 % en peso y un total de hierro de aproximadamente 2 % en peso para el mineral de ilmenita y > 95 % en peso de TiO_2 y < 1 % en peso de hierro total para mineral de anatasa. El tamaño de partícula obtenido después del procesamiento varía típicamente de 75 a menos de 425 micrómetros, lo que es adecuado para la cloración en un reactor de cloración de lecho fluidizado.

Las fases líquidas primera y segunda, y cualquier otro filtrado de lavado producido durante el procedimiento, pueden combinarse y ponerse en contacto con gas dióxido de carbono para recuperar aluminio disuelto y iones de metales alcalinos o alcalinotérreos. Por ejemplo, el dióxido de carbono que pasa a través de las fases líquidas reacciona con los iones de sodio en presencia de agua para formar bicarbonato de sodio, que puede recuperarse mediante cualquier procedimiento adecuado. El bicarbonato de sodio recuperado se puede reutilizar en la etapa de calcinación.

Los siguientes ejemplos no son de acuerdo con la invención.

Ejemplo 1: Beneficio de mineral de ilmenita de Australia

Se mezcla homogéneamente mineral de ilmenita (análisis dado en la Tabla 1) con el doble de bicarbonato de sodio y alúmina (20 % en peso del mineral) para producir la carga para calcinación. La carga se calcina en aire a 950 ºC durante 120 minutos para producir una masa calcinada. La masa calcinada se lava bien con agua y los granos calcinados se eliminan por filtración. Los solubles se separan y almacenan para recuperar los iones de sodio. Los granos calcinados se someten luego a una aireación catalítica en un medio de cloruro de amonio a pH 4 para eliminar el hierro como $Fe(OH)_3$. El grano aireado catalítico fue separado del hidróxido de hierro por filtración.

Los granos aireados catalíticos se lavan luego con ácido con HCl 4M a 40-80 ºC durante 2 horas. Después del lavado con ácido, el producto se separa y se lava bien con agua para eliminar los iones de sodio y el resto de Fe_2O_3. El producto obtenido es rutilo sintético de alto grado con un contenido de titania >95 % en peso. El análisis químico del mineral de ilmenita y el producto beneficiado 1 se enumeran en la Tabla 1.

Los residuos solubles separados después de las etapas de calcinación y lavado con ácido se burbujean con gas CO_2 para recuperar la sal alcalina y la alúmina.

Ejemplo 2: Beneficio del mineral de anatasa

El mineral de anatasa se sometió a pasos idénticos a los descritos en el Ejemplo 1. El análisis químico del mineral de anatasa y el producto beneficiado 2 se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1: Beneficio de minerales titaníferos

Componentes	**Mineral de Ilmenita**	**1**		**Mineral de Anatasa**	**2**
TiO_2 (%)	70,65	95,2		57,8	95,89
Fe_2O_3 (%)	21,69	2,01		14,61	0,8
Al_2O_3 (%)	2,51	1,2		7,64	0,84
SiO_2(%)	2,13	0,9		1,65	0,74
P_2O_5 (%)	0,42	0,01		7,65	0,3
CaO (%)	< 0,01	< 0,01		2,13	1,17

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para beneficiar un mineral titanífero que comprende:

(a) calcinar el mineral titanífero, al menos una sal de metal alcalino o alcalinotérreo, y al menos un material que contiene alúmina en presencia de oxígeno para formar una mezcla de mineral calcinado;

(b) lixiviar la mezcla de mineral calcinado con una solución que comprende cloruro de amonio y ácido acético, ácido fórmico o ácido oxálico en presencia de oxígeno para formar un mineral lixiviado y una primera fase líquida, en donde la solución tiene un pH en el rango de 3,5 a 4,5; y

(c) poner en contacto el mineral lixiviado con un ácido para formar un mineral beneficiado y una segunda fase líquida.

2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la calcinación se realiza a una temperatura de 800ºC a 1000ºC.

3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el mineral titanífero comprende un mineral seleccionado del grupo que consiste en ilmenita, anatasa, arenas de playa de ilmenita, escoria titanífera de grado bajo, rutilo natural, perovskita y mezclas de los mismos.

4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la sal de metal alcalino o alcalinotérreo se selecciona del grupo que consiste en bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos y sulfatos.

5. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la sal de metal alcalino o alcalinotérreo se selecciona del grupo que consiste en $NaHCO_3$, $KHCO_3$, $LiHCO_3$, $NaHSO_4$, $KHSO_4$, Na_2CO_3, K_2CO_3, Li_2CO_3, LiOH, NaOH y KOH.

6. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la sal de metal alcalino o alcalinotérreo es bicarbonato de sodio o potasio.

7. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el material que contiene alúmina se selecciona del grupo que consiste en alúmina, hidróxido de aluminio, arcilla que contiene alúmina, aluminatos de metales alcalinos y mezclas de los mismos.

8. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la mezcla de mineral calcinado se lava con agua antes de la etapa de lixiviación (b).

9. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la lixiviación de la mezcla de mineral calcinado se produce a una temperatura de al menos 35 ºC.

10. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que se burbujea aire a través de la solución durante la etapa de lixiviación.

11. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el ácido se selecciona del grupo que consiste en ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido acético y ácido fórmico.

12. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el ácido es ácido clorhídrico.

13. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la primera y la segunda fase líquida se ponen en contacto con gas dióxido de carbono para recuperar aluminio disuelto y iones de metales alcalinos o alcalinotérreos.

14. El procedimiento de la reivindicación 1 que adicionalmente comprende lavar el mineral beneficiado con agua.