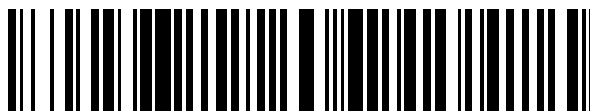


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 730 623**

51 Int. Cl.:

C01G 23/047 (2006.01)

C01F 7/14 (2006.01)

C01F 7/38 (2006.01)

C01G 49/06 (2006.01)

C22B 7/04 (2006.01)

C22B 34/12 (2006.01)

C22B 1/02 (2006.01)

C22B 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.06.2004** **PCT/GB2004/002543**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.12.2004** **WO04113230**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.06.2004** **E 04736662 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2019** **EP 1633679**

54 Título: **Procedimiento de extracción de óxidos metálicos reactivos**

30 Prioridad:

16.06.2003 GB 0313886

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

12.11.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

JHA, ANIMESH;
MALPAN, PAILO, ANTONY y
TATHAVADKAR, VILAS, DATTATRAY

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 730 623 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de extracción de óxidos metálicos reactivos

La presente invención se refiere a un procedimiento para la recuperación de un óxido metálico de una mezcla rica en titanio y/o rica en alúmina y a un procedimiento para recuperar dióxido de titanio de una composición que contiene dióxido de titanio.

Los procedimientos existentes para la extracción de alúmina y TiO_2 generan grandes cantidades de desechos peligrosos que se eliminan en vertederos. La gestión de los sitios de los vertederos es un problema mayor debido a las regulaciones medioambientales rigurosas en aumento.

El procedimiento de Bayer usado para la extracción de alúmina de menas de bauxita está bien documentado (Technology Roadmap for Bauxite Residue Treatment and Utilisation, Feb 2000, The Aluminum Association véase <http://www.aluminum.org>; Ed. Fathi Habashi, *Hand Book of Extractive Metallurgy*, Vol. II, Publ: Wiley-VCH, Berlín, 1997; Adamson y col., *Basic Principles of Bayer Process Design*, Extractive Metallurgy of Aluminium, Vol. I, Publ.: Interscience, Nueva York, 1963; Kirk-Othmer, *Encyclopaedia of Chemical Technology*, Vol. 1, 4ª edición, John Wiley, Nueva York, (1991-98); y Crockett, *Bauxite, Alumina and Aluminium*, Publ.: H.M.S.O., Londres, (1978)). El procedimiento de Bayer genera grandes cantidades de residuo altamente alcalino conocido como lodo rojo. La eliminación de grandes cantidades de lodo rojo se ha vuelto un problema mayor. La percolación de lixiviado alcalino en el agua superficial y subterránea y el polvo seco de los sitios de vertederos mantenidos inapropiadamente crean preocupaciones medioambientales graves. En naciones donde las regulaciones medioambientales son estrictas, el coste total de la eliminación de lodo rojo puede ser tanto como 5 \$ por tonelada que puede ser al menos el 5 % del precio de venta actual de la alúmina. La eficiencia de extracción óptima de alúmina a partir de los depósitos y concentrados de bauxita más adecuados varía entre el 55 % y el 60 % lo que significa que al menos el 45 % de la alúmina se mantiene bloqueada en el residuo del procedimiento de Bayer.

Se han desarrollado diversas técnicas para la recuperación de álcali, alúmina, $\text{Fe}/\text{Fe}_2\text{O}_3$, TiO_2 , SiO_2 y otros materiales del lodo rojo y para fabricación de ladrillos y refractarios (Thakur y col., *Red Mud Analysis and Utilization*, Publ: Wiley Eastern Limited, Nueva Delhi, 1994; documento US-A-6248302, documento US5106797; documento US-A-4668485; y documento US-A-3989513). Sin embargo, la mayoría de estas técnicas no son económicas y no se usan en el mercado. En la mayoría de industrias de alúmina, la práctica común para la eliminación del lodo rojo es espesar profundamente para recuperar la alúmina y sosa seguido de almacenamiento en suspensión húmeda o en seco (www.alcoa.com.au/environment/bauxiter.shtml; www.former.alcan.com/Environment.nsf/SubTopics-E/raw?OpenDocument) Siempre que sea posible, el lodo rojo también se elimina en el mar o en cuencas hidrográficas. Sin embargo esta práctica se está disminuyendo gradualmente debido a los efectos a largo plazo en la ecología marina. El almacenamiento en seco tiene varias ventajas frente al almacenamiento en suspensión húmeda pero necesita una alta inversión inicial. En el procedimiento de almacenamiento en seco, después de espesar profundamente, la suspensión se seca al sol en estanques especialmente diseñados. Cuando están llenos, los sitios se tapan, la tierra se restaura para otro uso y se pone en el sitio un programa de monitorización de seguimiento para asegurar la compatibilidad medioambiental.

También se ha llevado a cabo el trabajo en la reducción de óxidos de hierro usando gas natural a través de fundición. Sin embargo la separación del hierro aún se mantiene como un problema principal para la recuperación de dióxido de titanio (Thakur [supra]; y Srikanth y col.; TMS 130th Annual meeting and conference, Nueva Orleans, EE.UU., 11-15 feb., 2001).

La mena de ilmenita es la mayor fuente de metal Ti y TiO_2 . Cuenta el 90 % del depósito de Ti del mundo con el 10 % restante con origen natural como TiO_2 (conocido como rutilo). El propio TiO_2 es un mineral importante usado como un pigmento (particularmente en pinturas, recubrimientos, papel, tintas de impresión, fibras sintéticas y productos farmacéuticos) y en fabricación de vidrios y cerámicas, electro-cerámicas y flujos de soldadura. La presencia de óxidos de hierro en la ilmenita contribuye al deshecho y a la calidad del pigmento.

Actualmente, la ilmenita ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) se transforma en rutilo sintético por procedimientos químicos o bien térmicos (Ed. Fathi Habashi, *Hand Book of Extractive Metallurgy*, Vol. II, Publ: Wiley-VCH, Berlín, 1997). El hierro puede lixivarse de la ilmenita usando ácido clorhídrico o sulfúrico que deja atrás un 90-96 % de rutilo sintético. El desecho lixiviado se elimina bien en un estanque o bien en el mar dando lugar a una pérdida mayor de hierro. En un procedimiento de reducción carbotérmico, la ilmenita se reduce en un horno de arco eléctrico a aproximadamente 1650 °C para producir metal Fe en forma de arrabio y escoria que contiene TiO_2 . algo del FeO se deja deliberadamente en la escoria para reducir el punto de fusión. El contenido de TiO_2 de la escoria puede variar dependiendo de la mineralogía de la mena entre el 65 y el 80 %. Después se requiere una etapa de cloración y oxidación a alta temperatura o lixiviado con ácido sulfúrico (para escoria de baja calidad) para producir TiO_2 de alta calidad (documento US-A-5068093; documento US-A-5997606; y documento US-A-6090354). El TiO_2 de alta calidad también se produce a partir de rutilo. La cloración del rutilo se usa para producir TiCl_4 , que después se oxida para producir TiO_2 . En vista de las preocupaciones medioambientales con respecto al uso de sustancias tales como ácido clorhídrico y sulfúrico y la eliminación de cantidades copiosas de deshecho ácido producido por estos procedimientos, es esencial que se desarrolle un enfoque nuevo, más medioambientalmente aceptable para la extracción de TiO_2 .

Ha habido un número limitado de investigaciones a escala de laboratorio no exitosas del tueste de ilmenita con sosa en una atmósfera reductora con carbón. Sin embargo el rendimiento del TiO_2 fue menos del 50 por ciento. La desventaja mayor con este procedimiento es que ni el hierro se separa en forma metálica ni es un producto lixiviable producido (Ed. Fathi Habashi, Hand Book of Extractive Metallurgy, Vol. II, Publ: Wiley-VCH, Berlín, 1997). La reducción de ilmenita para fabricar hierro y TiO_2 también se ha estudiado extensivamente. Sin embargo la extracción de TiO_2 de mena reducida exhibe desventajosamente una fina distribución de oxocarburo de Ti y fases óxido (Srinath [supra]).

La presente invención busca mejorar la recuperación de un óxido metálico de una mezcla ferrosa separando una proporción sustancial de hierro antes de aislar el óxido metálico.

De esta manera visto desde un aspecto la presente invención proporciona un procedimiento para recuperar al menos un óxido metálico a partir de una mezcla titaniferosa o aluminaferrosa que comprende:

- (A) fundir la mezcla en presencia de un agente reductor para producir una escoria fundida, en la que el agente reductor es hierro colado fundido;
- (B) añadir a la escoria fundida un álcali, en la que el álcali es un carbonato o bicarbonato;
- (C) aislar el hierro fundido de la escoria fundida para producir una escoria residual; y
- (D) recuperar el óxido metálico de la escoria residual.

Por una "mezcla titaniferosa" se entiende una mezcla de especies de óxido metálico en forma de compuesto o formas que incluyen titania (TiO_2) y al menos una especie de hierro tales como una especie ferrosa o férrica (preferentemente un óxido de hierro tales como FeO , Fe_2O_3 o Fe_3O_4). La mezcla titaniferosa puede ser sintética o (preferentemente) natural tales como un polvo, mena o mineral. Se prefiere un material rico en titanio tales como un mineral o una mena titaniferosos (*por ejemplo* ilmenita, arenas de playa de ilmenita, rutilo natural o perovskita). Preferentemente la mezcla titaniferosa comprende además alúmina. Preferentemente la mezcla titaniferosa comprende además sílice.

Por una "mezcla aluminaferrosa" se entiende una mezcla de especies metálicas (*por ejemplo* elementos metálicos, compuestos o aleaciones) que incluyen alúmina (Al_2O_3) y al menos una especie de hierro tales como una especie ferrosa o férrica (preferentemente un óxido de hierro tales como FeO , Fe_2O_3 o Fe_3O_4) y un óxido metálico a recuperar. La mezcla aluminaferrosa puede ser sintética o (preferentemente) natural tales como un polvo, mena o mineral. Una mezcla aluminaferrosa es una mezcla rica en aluminio tales como un mineral o una mena de aluminio (*por ejemplo* bauxita) o lodo rojo (o una mezcla de bauxita y lodo rojo). Preferentemente la mezcla aluminaferrosa comprende además titania. Preferentemente la mezcla aluminaferrosa comprende además sílice.

El procedimiento de la invención proporciona una recuperación completa, eficiente y económica de óxido metálico aliviando los problemas medioambientales asociados a los procedimientos existentes. El procedimiento puede ser ventajosamente un procedimiento de sustancialmente cero desechos.

En una realización de la invención, el óxido metálico es uno o más de alúmina, TiO_2 , Fe_2O_3 y SiO_2 .

Una realización de la invención comprende además: recuperar uno o más hidróxidos metálicos.

En una realización del procedimiento, el al menos un óxido metálico es al menos dos óxidos metálicos (preferentemente TiO_2 y Al_2O_3).

En la etapa (A), una proporción mayor (preferentemente hasta un 75 % en peso tal como un 70-75 % en peso) del hierro (*por ejemplo* óxido de hierro) presente en la mezcla titaniferosa o aluminaferrosa puede reducirse a hierro metálico fundido en la escoria fundida.

Preferentemente el hierro metálico es acero (*por ejemplo* acero alto en carbono). Para este fin, el agente reductor es hierro colado fundido y la etapa (A) se lleva a cabo preferentemente en un baño de hierro colado fundido. El carbono y el silicio inherentes en el hierro colado fundido actúan como agentes reductores para producir una escoria fundida (que contiene predominantemente óxidos minerales de ganga tales como SiO_2) como se muestra por ejemplo en las ecuaciones 1 y 2:



Dependiendo de la composición precisa de la mezcla titaniferosa o aluminaferrosa, la etapa (A) puede transformarse ventajosamente en un acero de alto carbono sin aumentar la necesidad de consumo de energía adicional ya que las reacciones (1) y (2) y la combustión del CO desprendido son exotérmicas con un ΔH total de - 305 Kcal/mol. Preferentemente el hierro metálico es acero de C del 0,8 al 1,0 %. Este puede derivar del 4 al 4,5 % de C en el hierro

colado y permite que la temperatura de fusión del acero alto en C pueda mantenerse a aproximadamente 1475 °C durante la etapa (A) en la que la escoria también se mantiene fundida. Aunque el contenido de carbono en el acero puede reducirse, se requiere después energía adicional para mantener la temperatura del metal líquido.

5 En una realización preferida, el agente reductor comprende: una fuente de carbono. La fuente de carbono puede ser carbono sólido, grafito, carbón fino o polvo de coque. Cuando el procedimiento se realiza en presencia de hierro colado fundido en un baño, la fuente de carbono ayuda ventajosamente a que las reacciones (1) y (2) alcancen el equilibrio.

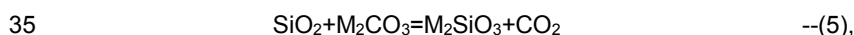
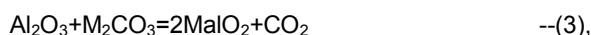
10 En una realización preferida, la etapa (A) comprende fundir la mezcla en presencia de un agente reductor y cal (es decir CaO o Ca(OH)₂). Como se muestra en la ecuación (6) posterior, la adición de cal bloquea ventajosamente la sílice formada a través de la reacción (1) y cualquiera presente en la mezcla de manera que reduce el consumo de álcali en la formación de silicatos de álcali en la etapa (B). La sílice en exceso puede fijarse de esta manera por ejemplo mediante la adición de una proporción equivalente de cal en la escoria de aluminosilicato sódico. La presencia de SiO₂ ayuda a la separación de TiO₂ en la etapa (D) (*por ejemplo* durante la inactivación con agua). Sin embargo, una cantidad en exceso de cal ayuda al reparto preferencial de alúmina entre el aluminato sódico y el aluminosilicato cálcico. La formación de escoria de aluminosilicato cálcico no es deseable para la extracción completa de alúmina. La adición de CaO cambia la asociación química de la alúmina con sílice a óxido sódico formando aluminato sódico, mientras que el TiO₂ se mantiene desproporcionado en forma pura (es decir escoria saturada en TiO₂) y en la fase de silicato cálcico.

20 Cuando la mezcla aluminaferrosa es bauxita o lodo rojo, la cal y el carbono en exceso se mezclan preferentemente en la misma y se cargan en un baño de hierro colado fundido en la etapa (A). Cuando la mezcla titaniferrosa es ilmenita, la mena se carga en la etapa (A) en un baño de hierro colado para promover la reducción de óxidos de hierro por el carbono y el silicio presentes en el hierro colado fundido.

En la etapa (b), el álcali puede añadirse en una cantidad de hasta el 50 % en exceso de la proporción estequiométrica a la escoria fundida. El álcali es un carbonato o un bicarbonato.

25 El carbonato puede ser un carbonato de un metal del grupo Ia o IIa o una mezcla de los mismos. Preferentemente el carbonato se selecciona del grupo que consiste en carbonato sódico (sosa) y carbonato potásico (potasa). En una realización preferida (*por ejemplo* cuando la mezcla aluminaferrosa es bauxita o lodo rojo), el carbonato puede añadirse al fundido a una temperatura en exceso de 1500 °C. El carbonato potencia la fluidez de la escoria y facilita una mejor separación del metal. En el caso del dióxido de titanio, el carbonato puede añadirse al fundido a una temperatura por debajo de 900 °C formando las fases de titanato sódico y aluminato sódico.

30 A modo de ejemplo, la reacción entre los óxidos refractarios y los carbonatos alcalinos forma aluminatos, silicatos y titanatos como se muestra en las ecuaciones (3) a (5):



40 Cuando la mezcla titaniferrosa es ilmenita, la etapa (A) puede comprender fundir la mezcla en presencia de hasta el 50 % en proporción estequiométrica de una mezcla de álcali/alúmina o aluminato sódico. Esto promueve la formación de aluminato sódico en la escoria que después tiene un punto de fusión mucho más bajo que el TiO₂ puro o la escoria de FeO.TiO₂. La escoria de aluminato sódico es también un sumidero muy bueno para cualquier óxido de hierro sin reducir y sílice restantes.

45 En la Etapa (C), el hierro fundido (*por ejemplo* acero) y la escoria residual se sangran preferentemente de forma separada. Preferentemente durante el sangrado de la escoria residual, se añade álcali. Preferentemente el álcali se añade por dosificación. Esto convierte ventajosamente cualquier Al₂O₃ y TiO₂ en aluminatos y titanatos, mientras que minimiza el riesgo del ataque del álcali en el revestimiento refractario.

En una realización preferida, la etapa (D) comprende:

- 50 (D1) añadir a la escoria residual una solución acuosa;
(D2) separar una solución de metalato de un residuo de metalato; y
(D3) aislar el óxido metálico de la solución de metalato y/o del residuo de metalato.

La solución acuosa puede ser agua o una solución amoniacal diluida. La solución acuosa puede estar a una temperatura elevada. La solución de metalato puede ser una solución de aluminato. El residuo de metalato puede

comprender titanatos y/o silicatos.

La etapa (D2) puede llevarse a cabo por filtración. El residuo de metalato puede lavarse exhaustivamente para recuperar toda la solución de metalato y álcali.

En una realización, la etapa (D3) puede comprender:

5 (D3a) precipitar hidróxido metálico de la solución de metalato

La etapa (D3a) puede realizarse mediante la adición de un ácido. Típicamente el ácido es un ácido inorgánico (*por ejemplo* un ácido inorgánico seleccionado del grupo que consiste en ácido fluorhídrico, ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido sulfúrico, un óxido ácido y mezclas de los mismos). Preferentemente el ácido es un óxido ácido, en particular preferentemente dióxido de carbono. Por ejemplo, la etapa (D3a) puede incluir: burbujear gas CO₂ (o hacer pasar

10 ácido oxálico en) la solución de metalato. Preferentemente el gas CO₂ se genera durante la etapa (A).

El precipitado de hidróxido metálico se lava exhaustivamente. El hidróxido de aluminio formado en la etapa (D3a) puede calcinarse para producir alúmina.

En una realización, la etapa (D3) puede comprender:

15 (D3b) lixiviar en ácido el residuo de metalato para producir un lixiviado ácido;
(D3c) precipitar selectivamente a partir del lixiviado ácido una sal hidratada del óxido metálico; y
(D3d) convertir la sal hidratada en el óxido metálico.

La etapa (D3b) puede comprender:

20 (D3b1) acidificar el residuo de metalato para producir una suspensión;
(D3b2) hidrolizar la suspensión; y
(D3b3) separar un residuo insoluble.

El residuo de metalato puede digerirse en ácido (*por ejemplo* ácido sulfúrico) en la etapa (D3b1) y filtrarse en la etapa (D3b3) para separar el residuo insoluble (*por ejemplo* silicatos). De acuerdo con las prácticas familiares para aquellos expertos en la materia, el pH puede ajustarse a 1 seguido de hidrólisis de la solución filtrada para producir óxido de titanio hidratado en la etapa (D3c). El precipitado filtrado y lavado puede calcinarse (en la etapa D3d) para producir

25 TiO₂ de calidad de pigmento. La solución filtrada puede reciclarse en una etapa de digestión de ácido.

El residuo insoluble consiste principalmente en silicatos y tiene un pH de 5-6. Esto puede neutralizarse a pH 7 y eliminarse de forma útil como un acondicionador del suelo que contiene iones K⁺.

El agua de deshecho y la solución filtrada de diversas fases de las realizaciones de la invención pueden tratarse con gas CO₂ (generado durante la etapa (A) y (B)) para recuperar el carbonato alcalino, que puede reciclarse después en la etapa (B).

30

La presente invención se describirá a continuación en un sentido no limitante con referencia los Ejemplos y las Figuras que acompañan en las que:

La Figura 1a ilustra esquemáticamente el procedimiento llevado a cabo en los Ejemplos I y II.

La Figura 1b ilustra esquemáticamente el procedimiento llevado a cabo en el deshecho titaníferoso.

35 **EJEMPLO I: Mena de bauxita de Ghana**

La Figura 1 a ilustra esquemáticamente el procedimiento llevado a cabo en el Ejemplo 1.

Hierro colado gris con un 1 % de Si y un 4,2 % de carbono se fundió en un horno de inducción. La mena de bauxita de Ghana (composición aproximada: 55 % de Al₂O₃, 12 % de Fe₂O₃, 2 % de TiO₂, 2 % de SiO₂ y humedad) se mezcló homogéneamente con cal y carbono en exceso y se añadió lentamente al baño fundido. La temperatura del baño se

40 ajustó para mantener la escoria que contiene metal en una condición fundida.

Se añadió carbonato sódico o potásico (20 % de exceso a la relación estequiométrica) al final de la reducción y la escoria fluida se sangró. La escoria se digirió en agua caliente y se filtró. El filtrado se acidificó con dióxido de carbono para convertir el aluminato sódico/potásico hidrosoluble en un precipitado de Al(OH)₃. El Al(OH)₃ se filtró y se calcinó para producir Al₂O₃ puro. La eficiencia de extracción de alúmina fue cerca del 65 %. La alúmina restante formó aluminosilicatos complejos. El filtrado se evaporó y se recuperó carbonato sódico.

45

El residuo que contiene dióxido de titanio (TiO₂) se mezcló con 98 % de H₂SO₄ para fabricar una suspensión. La relación de H₂SO₄ a residuo se eligió de tal manera que la relación en peso de H₂SO₄ a TiO₂ en la suspensión producida por hidrólisis se mantuviera entre 2 y 2,5. Se extrajo aproximadamente un 75 % de TiO₂. La suspensión obtenida por digestión se disolvió en agua. El material sólido no disuelto que contiene silicatos se retiró completamente por filtración.

50 El hidrato de óxido de titanio se precipitó a partir de la solución filtrada por hidrólisis en el intervalo de temperatura de 375 a 390 K. El hidrato de óxido de titanio se filtró a partir de la solución y se calcinó en el intervalo de temperatura de

1050 a 1300 K para producir óxido de titanio puro. (La Figura 1b ilustra esquemáticamente el procedimiento análogo del Ejemplo I y la Figura 1a llevado a cabo en ilmenita u otro deshecho titaníferoso).

EJEMPLO II: (Lodo rojo)

La Figura 1 ilustra esquemáticamente el procedimiento llevado a cabo en el Ejemplo II.

- 5 El lodo rojo (composición aproximada: 46 % de Fe_2O_3 , 22 % de Al_2O_3 , 8 % de TiO_2 , 8 % de SiO_2 , 3-4 MgO y CaO y la pérdida en la ignición fue del 10-12 % en peso) se cargó con cal en exceso y carbono en un baño de hierro colado gris. Se añadió carbonato sódico/potásico (20 % de exceso de la relación estequiométrica) a la escoria antes de sangrar. Los experimentos se llevaron a cabo como se describe en el ejemplo anterior. La eficiencia de extracción de alúmina fue más del 75 %. Se extrajo aproximadamente un 75 % de TiO_2 en el procedimiento. El residuo contenía
- 10 alumino-silicatos complejos.

El lodo rojo obtenido en este caso contiene álcali en forma de iones potasio y no exhibe los efectos dañinos de la sosa en el lodo rojo que no puede usarse como un fertilizante o un acondicionador del suelo.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de recuperación de al menos un óxido metálico a partir de una mezcla titaniferosa o aluminaferrosa que comprende:
 - (A) fundir la mezcla en presencia de un agente reductor para producir una escoria fundida, en el que el agente reductor es hierro colado fundido;
 - (B) añadir a la escoria fundida un álcali, en el que el álcali es un carbonato o bicarbonato;
 - (C) aislar el hierro fundido de la escoria fundida para producir una escoria residual; y
 - (D) recuperar el óxido metálico de la escoria residual.
2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la mezcla titaniferosa es ilmenita, rutilo o perovskita.
3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la mezcla aluminaferrosa es un mineral o una mena de aluminio o lodo rojo.
4. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3 en el que la mezcla aluminaferrosa es bauxita o lodo rojo.
5. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el óxido metálico es uno o más de alúmina, TiO_2 , Fe_2O_3 y SiO_2 .
6. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende recuperar uno o más hidróxidos metálicos.
7. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el al menos un óxido metálico es al menos dos óxidos metálicos que son TiO_2 y Al_2O_3 .
8. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que en la etapa (A) sustancialmente todo el hierro presente en la mezcla titaniferosa o aluminaferrosa se reduce a hierro metálico fundido en la escoria fundida.
9. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el hierro metálico es acero.
10. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la etapa (A) se lleva a cabo en un baño de hierro colado fundido.
11. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, en el que el hierro metálico es acero con 0,8 al 1,0 % de C.
12. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el agente reductor comprende una fuente de carbono.
13. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la etapa (A) comprende fundir la mezcla en presencia del agente reductor y cal.
14. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el carbonato es un carbonato de un metal del grupo la o IIa o una mezcla de los mismos.
15. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el carbonato se selecciona del grupo que consiste en carbonato sódico y carbonato potásico.
16. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la mezcla titaniferosa es ilmenita y la etapa (A) comprende fundir la mezcla en presencia de hasta el 50 % en proporción estequiométrica de una mezcla de álcali/alúmina o aluminato sódico.
17. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que en la etapa (C), el hierro fundido y la escoria residual se sangran separadamente.
18. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 17, en el que durante el sangrado de la escoria residual, el álcali se añade por dosificación.
19. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la etapa (D) comprende:
 - (D1) añadir a la escoria residual una solución acuosa;
 - (D2) separar una solución de metalato de un residuo de metalato; y
 - (D3) aislar el óxido metálico de la solución de metalato y/o del residuo de metalato.
20. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 19, en el que la etapa (D3) comprende:
 - (D3a) precipitar hidróxido metálico de la solución de metalato.

21. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 20, en el que la etapa (D3a) incluye: burbujear gas CO₂ (o hacer pasar ácido oxálico en) la solución de metalato.

22. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 21, en el que el gas CO₂ se genera durante la etapa (A).

23. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 19, en el que la etapa (D3) comprende:

- 5 (D3b) lixiviar en ácido el residuo de metalato para producir un lixiviado ácido;
 (D3c) precipitar selectivamente a partir del lixiviado ácido una sal hidratada del óxido metálico; y
 (D3d) convertir la sal hidratada en el óxido metálico.

24. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 23, en el que la etapa (D3b) comprende:

- 10 (D3b1) acidificar el residuo de metalato para producir una suspensión;
 (D3b2) hidrolizar la suspensión; y
 (D3b3) separar la solución de metalato del residuo insoluble.

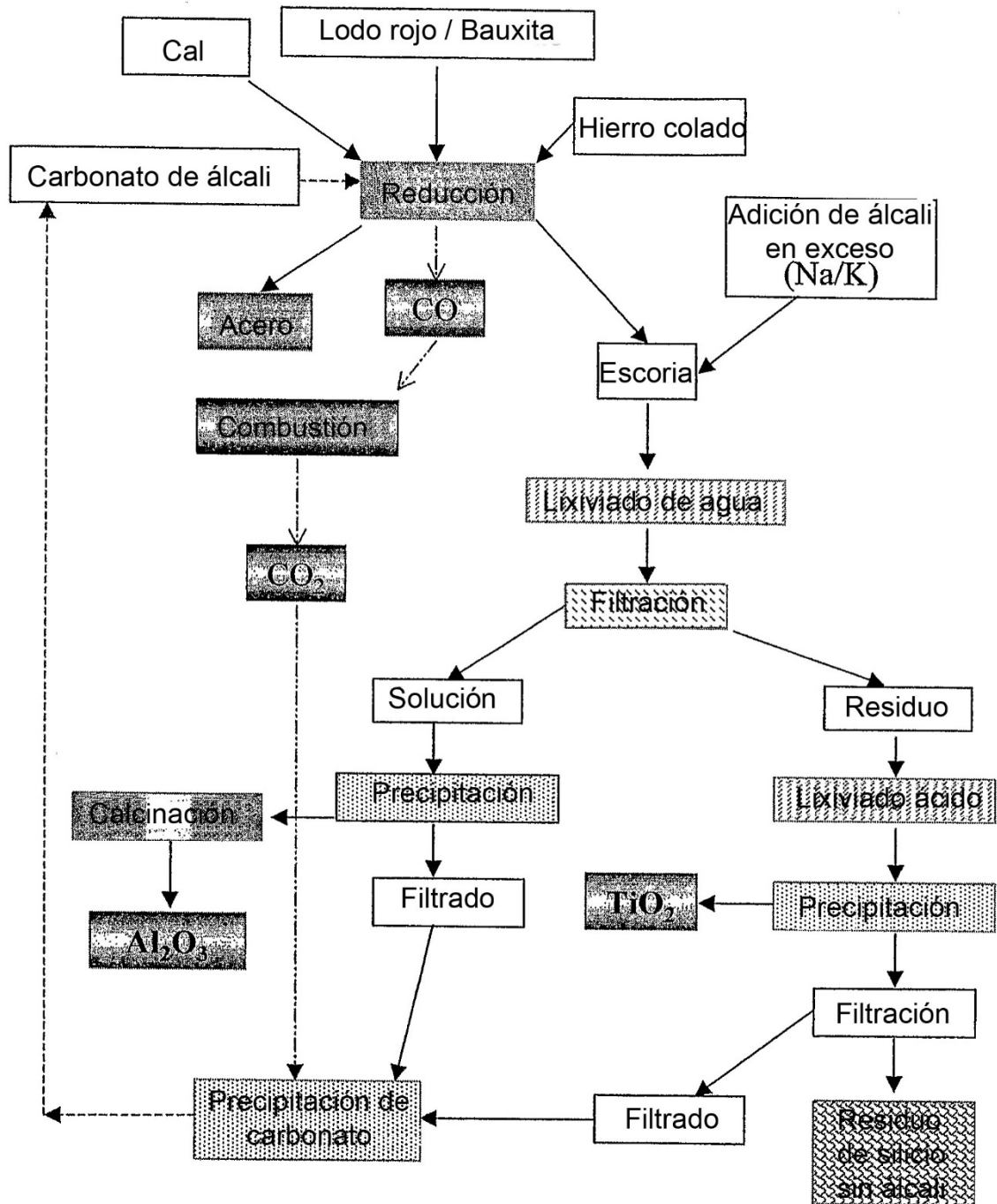


FIGURA1a

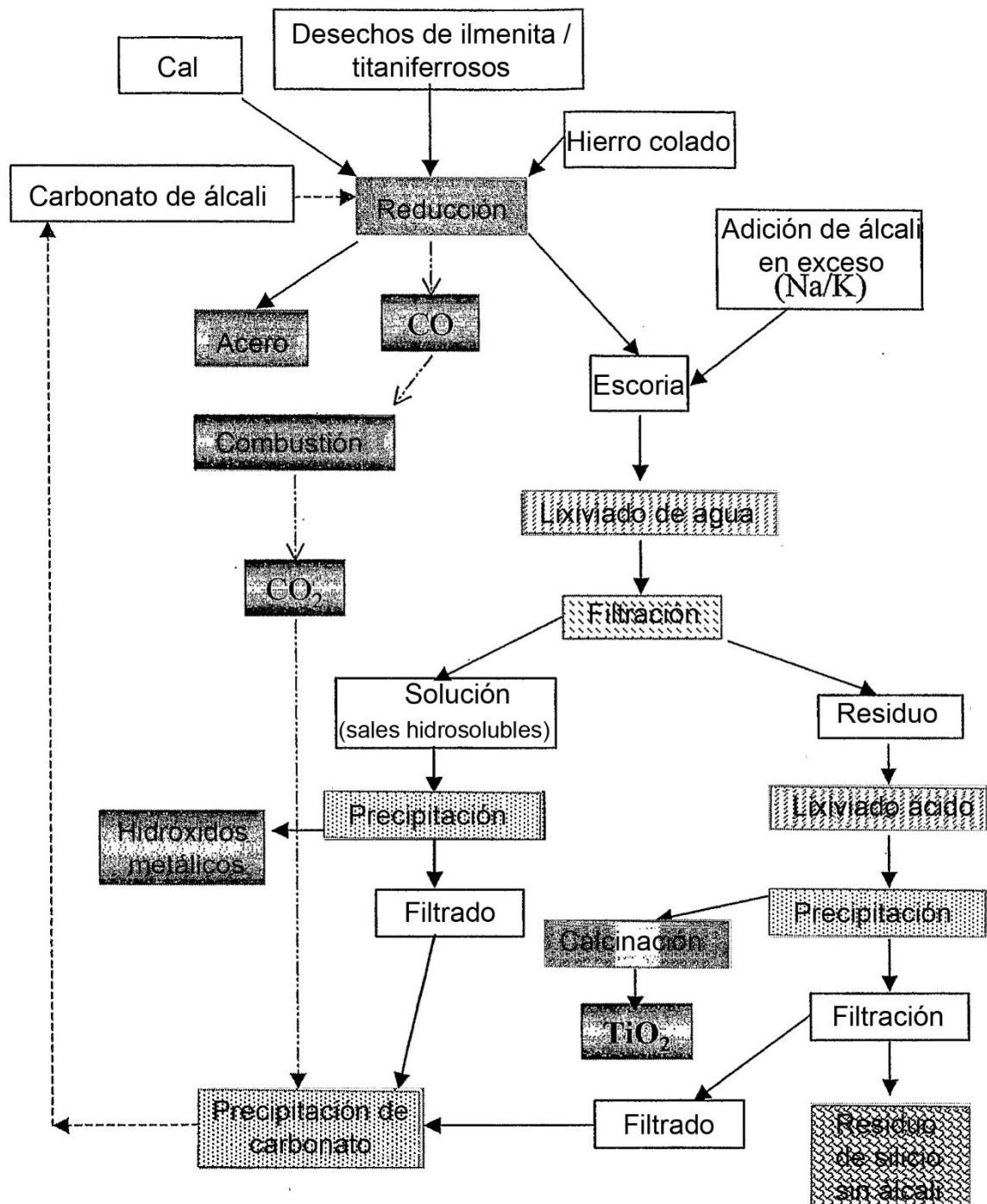


FIGURA1b