

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 658 081**

51 Int. Cl.:

C01G 23/02 (2006.01)
C01B 33/107 (2006.01)
C01G 49/10 (2006.01)
C01B 9/02 (2006.01)
C01F 7/56 (2006.01)
C01F 7/62 (2006.01)
C22B 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.06.2014 PCT/IT2014/000170**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **31.12.2014 WO14207778**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.06.2014 E 14748298 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.11.2017 EP 3013753**

54 Título: **Procedimiento para la extracción, desde bauxita o desde el barro rojo resultante del procesamiento de bauxita, de productos de interés industrial separados uno de otro**

30 Prioridad:

28.06.2013 IT RM20130380

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.03.2018

73 Titular/es:

ECOTEC GESTIONE IMPIANTI S.R.L. (100.0%)
Via Montegrappa, 133
96100 Siracusa (SC), IT

72 Inventor/es:

IMERITO, ALDO;
ORRU', RICCARDO;
RAGONA, MARIO;
PISU, MASSIMO y
DENOTTI, CARLA

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 658 081 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la extracción, desde bauxita o desde el barro rojo resultante del procesamiento de bauxita, de productos de interés industrial separados uno de otro

5 El campo técnico de la presente invención se refiere a la transformación de la bauxita y el barro rojo, que es un subproducto resultante del proceso de Bayer para la extracción de alúmina, con fines económicos y ecológicos.

Como es sabido, el proceso industrial más utilizado para obtener alúmina de bauxita se llama proceso de Bayer. Las etapas que caracterizan el proceso son:

trituración de la bauxita;

solubilización a pocas decenas de grados Celsius y posterior separación de las porciones insolubles;

10 precipitación de $Al(OH)_3$ por disminución de la temperatura;

calcinación.

En la bauxita hay óxidos de Al, Ti, Fe y Si en diversas composiciones y porcentajes. Pueden estar presentes otros compuestos explotables, en cantidades muy bajas pero todavía importantes, entre los que se encuentran el galio u otros compuestos de metales raros o de tierras raras.

15 La eficiencia de extracción del proceso de Bayer es muy baja y esto da como resultado la presencia de grandes cantidades de elementos metálicos en los subproductos del proceso, denominados genéricamente barro rojo. El proceso de Bayer tiene, además, el efecto de que en el barro rojo se concentran el galio u otros metales raros o de tierras raras, si se producen en la bauxita tratada.

20 Durante el proceso, varios hidróxidos de hierro que se producen en la bauxita se deshidratan formando de este modo una solución sólida de Fe_2O_3 (contiene aproximadamente 10 % de Al_2O_3) que cristaliza sucesivamente y forma el constituyente principal del barro rojo, cuya composición química típica es la siguiente:

pH 12,5

Fe_2O_3 30 ÷ 60 %

Al_2O_3 11 ÷ 20 %

25 Ga_2O_3 trazas ÷ 0,02 %

SiO_2 2,5 ÷ 14 %

TiO_2 trazas ÷ 11 %

CaO trazas ÷ 11 %

Na_2O 1,5 ÷ 8 %

30 El barro rojo se diluye, con el fin de hacer que sea más fácil de bombear y de enviar a un filtro de presión, donde se recuperan algunos de sus componentes; sucesivamente, como un lodo, se bombea el mismo lejos de la planta para ser eliminado en lagunas artificiales. Dicha operación tiene un impacto ambiental importante ya que estos subproductos no se eliminan de manera efectiva y todavía no se han explotado industrialmente.

35 El barro rojo, por lo tanto, es un desecho con un impacto potencialmente extremadamente alto, cuyo manejo representa un serio problema todavía hoy. Aunque actualmente se maneja el barro rojo de tal manera que se minimizan sus efectos, sin embargo, también representa un enorme peligro para la salud humana; además, algunos sitios todavía sufren los efectos resultantes de un tratamiento pasado no corregido. Los depósitos superficiales donde se almacena el barro rojo se deben construir y manejar con especial cuidado para evitar las contaminaciones de los estratos subyacentes y de las tierras circundantes y evitar que el material pulverizado sea transportado por el

40 aire, dando como resultado efectos nocivos para la salud; de hecho, estos polvos son de naturaleza fuertemente alcalina y causan efectos irritantes en la piel, los ojos y el aparato respiratorio.

Solo durante los últimos años se han promovido estudios y experimentaciones para un procesamiento adecuado de estos desechos. En algunos casos, el alto contenido de aluminio en el material sugirió la modificación del ciclo de producción para reducir la carga alcalina, de tal manera que se obtenga un barro inerte que se pueda utilizar para

45 rellenar minas agotadas como sustrato adecuado para la reimplantación de la vegetación original u otros fines agrícolas o como material de capa de vertedero para las áreas costeras. Por último, también se ha experimentado el uso de barro rojo en la producción de materiales de construcción.

El barro rojo se considera un desecho de alto impacto ambiental, cuyo procesamiento y/o disposición representa un enorme coste social.

5 El documento WO 2009/139715 A1 describe un procedimiento en el que los compuestos metálicos recuperables se introducen en un baño de sal fundida de cloruro de aluminio y cloruros de metales alcalinos o cloruros de metales alcalinotérreos. El cloruro de aluminio actúa como un donante de cloro para obtener los cloruros metálicos que posiblemente se recuperan por volatilización y destilación/condensación fraccionada.

Existe, por lo tanto, en el campo específico, la necesidad de tratar la bauxita y el barro rojo según un procedimiento más ventajoso tanto desde el punto de vista económico como ambiental.

10 Esta necesidad se satisface mediante el procedimiento según la presente invención que ofrece, además, ventajas adicionales que serán evidentes de aquí en adelante.

Para simplificar la descripción del procedimiento, en lo que sigue, se utilizará la expresión gas o flujo gaseoso para indicar un flujo de materia que, dependiendo de las condiciones químico-físicas, puede estar completamente en fase gaseosa o puede ser una composición de fracciones que están en fase de vapor y fracciones que están en fase gaseosa.

15 Es, por lo tanto, un objetivo específico de la presente invención un procedimiento en el que la bauxita y los subproductos en polvo resultantes del procesamiento de la bauxita (barro rojo) se transforman mediante un procedimiento de múltiples etapas, en productos individuales para ser enviados a los respectivos mercados de referencia.

El procedimiento consiste en las siguientes etapas:

20 - trituración y/o secado opcional del material a ser tratado a una temperatura de 60 a 250 °C;

- tostación opcional con el fin de eliminar también el agua de cristalización;

25 - fusión del material, opcionalmente pretratado como se ha indicado en las etapas anteriores, en un reactor apropiado adecuado para asegurar una temperatura de operación del baño de fusión superior a 1350 °C. Según una realización preferida, el reactor puede ser de tipo horno de arco eléctrico (EAF). o de tipo "plasma de arco transferido". Es necesario fundir el material para así acelerar las reacciones que tendrán lugar en las siguientes etapas;

- insuflado de gas reactivo, dentro del baño fundido, por medio de sistemas adecuados. Se han obtenido buenos resultados según la invención utilizando cloro como gas reactivo;

30 - agitación mecánica opcional del baño fundido, por medio de sistemas adecuados, para maximizar de este modo la difusión del gas reactivo en el baño y el contacto entre las sustancias que deben reaccionar. Según las técnicas conocidas utilizadas actualmente, se producen reacciones análogas en reactores de tipo "lecho fluidizado", entre un material en fase sólida, aunque micronizado, y un gas reactivo (reacciones en fase sólida/gaseosa). Según el procedimiento propuesto, en cambio, la reacción tiene lugar entre una fase líquida y una fase gaseosa. La solubilidad del gas en el líquido aumenta la probabilidad estadística de la colisión de los reactivos; además, a las 35 temperaturas del baño, el gas disuelto ya está parcialmente disociado y, por lo tanto, en una forma química mucho más reactiva;

- según una realización preferida de la invención, cuando el reactor de fusión es del tipo de "plasma de arco transferido", el insuflado del gas reactivo puede tener lugar concurrentemente con el insuflado dentro del baño fundido, como gas generador de plasma, opcionalmente en mezcla con al menos un gas inerte (por ejemplo, argón);

40 -recogida del flujo gaseoso que sale del reactor de fusión y envío del mismo, a través de un conducto apropiado adecuado para mantener la temperatura del gas al menos a 1500 °C, hacia el sistema sucesivo de reactores de múltiples etapas;

45 - enfriamiento controlado del flujo gaseoso, para asegurar así una condensación selectiva de los diversos productos comercialmente interesantes que se producen en la mezcla de gases. La condensación selectiva se puede llevar a cabo utilizando cualquiera de las tecnologías conocidas entre las que se pueden mencionar, de forma ilustrativa pero no exhaustiva, columnas, condensador de haz tubular. Según una realización preferida, esta separación se produce mediante un sistema de múltiples etapas de columnas de condensación dispuestas en serie, a temperatura controlada. Según una realización preferida, las temperaturas de los reactores de etapas múltiples son:

- 1400 °C - 900 °C - condensación de cloruro de sodio;

50 - 310 °C - condensación de cloruro de hierro (III);

- 201 °C - condensación de cloruro de galio (III)

- 180 °C - condensación de tricloruro de aluminio;
- 130 °C – 100 °C - condensación de cloruro de titanio (IV);
- 50 °C - 25 °C - condensación de cloruro de silicio (IV)

- 5 Cuando hay también otros metales raros o de tierras raras, la secuencia de etapas múltiples se modifica de tal forma que también se recuperan estos elementos en forma de cloruro. Como se ha informado anteriormente, estos últimos compuestos, cuando están presentes, se concentran en el barro rojo producido a partir del procesamiento de la bauxita según el proceso de Bayer. Cada uno de los productos condensados, aunque con alta pureza, no podría tener un grado de pureza adecuado para el respectivo mercado de referencia; por lo tanto, se proporciona, para cada línea, un sistema de purificación adicional sucesivo por medio de destilación fraccionada.
- 10 El cloro gaseoso sin reaccionar, así como el gas inerte utilizado en los procesos, al final de los ciclos de condensación selectiva se separan, se recuperan y se envían aguas arriba al proceso, según una técnica conocida (por ejemplo, utilizando a modo de ejemplo, pero no de forma exhaustiva, tamices moleculares).
- Particularmente, según la invención, el secado se puede llevar a cabo a una temperatura en el intervalo de 100 a 115 °C.
- 15 De nuevo según la invención, la tostación se puede llevar a cabo a una temperatura de 600 °C a 800 °C.
- El baño fundido, de acuerdo con una variante del proceso, se puede mantener a una temperatura de operación de aproximadamente 1400 °C - 1500 °C.
- Además, según la invención, el gas reactivo insuflado en el baño fundido puede ser cloro o un compuesto de cloro seleccionado del grupo que consiste en ácido clorhídrico, cloruro de calcio, compuestos organoclorados como, de forma ilustrativa pero no exhaustiva, tetracloruro de carbono, percloroetileno, cloroformo o mezclas de los mismos, adecuados para desarrollar cloro gas en condiciones de reacción dentro del reactor. Según una realización particular, cuando se utiliza un reactor de plasma de arco transferido, el cloro se puede utilizar como gas generador de plasma, solo o junto con al menos un gas inerte que genera plasma (por ejemplo, argón).
- 20
- De nuevo según la invención, la captación de los gases que salen del reactor y la sucesiva condensación fraccionada de los mismos se lleva a cabo en un sistema de reactor de múltiples etapas, dando como resultado la obtención de compuestos clorados comercialmente interesantes.
- 25
- En particular, según la invención, los productos finales consistirán en cloruro de hierro (III), tricloruro de galio, tricloruro de aluminio, tetracloruro de titanio, tetracloruro de silicio que se puede obtener por el procedimiento descrito anteriormente, en una forma líquida o gaseosa.
- 30 La práctica de la presente invención ofrece las ventajas descritas a continuación.
- El procesamiento por medio de un reactor de fusión permite, si se aplica el método para barro rojo, que lo que hasta ahora era un desecho altamente dañino y cuya eliminación o procesamiento representaba un enorme coste social, sea transformado en una mezcla de gases, que consiste en cloruros metálicos que se producen en el mismo desecho, fácilmente separables y adecuados para ser reintroducidos en el ciclo económico; el residuo final de fusión
- 35 en el reactor es un material sólido fácilmente manejable para su eliminación sucesiva en un vertedero controlado.
- Además, se obtiene la extracción a partir de bauxita o barro rojo de fracciones ricas de hierro, silicio, titanio, galio (u otros metales raros o de tierras raras) y aluminio, respectivamente, y la transformación contemporánea de las mismas en cloruros inorgánicos.
- Estos cloruros constituyen un buen material de valor comercial para las industrias metalúrgica, química y electrónica.
- 40 La matriz de bauxita y los residuos no extraídos de barro rojo se transforman en una matriz no pulverizada.
- Por lo tanto, como un todo, durante el procedimiento, por ejemplo, si se aplica para barro rojo, se obtiene una disminución de peso y de volumen, en comparación con el barro rojo en capas, debido a la separación de agua, desprendimiento de CO₂ y extracción de las fracciones metálicas y no metálicas abundantemente presentes en el barro inicial; particularmente, el procedimiento permite reducir el contenido de agua en más del 40 % en peso,
- 45 transformar la matriz y reducir el volumen y el peso de la misma, permitiendo de este modo un uso más racional de la cuenca del vertedero, permitiendo tiempos de cultivo más largos y un control más fácil de las emisiones de materiales en polvo difundidos.
- La matriz a tratar se somete al procedimiento que, debido a la temperatura alcanzada, al campo eléctrico aplicado y al entorno reactivo, como resultado de la inyección de cloro, transforma los compuestos de hierro, galio, aluminio, silicio y titanio en los cloruros correspondientes que se transfieren en fase gaseosa y se transportan hacia las secciones de separación y posible destilación fraccionada; la parte que queda en el reactor se transforma en un residuo que ya no está en polvo pero sí compacto con un tamaño reducido de volumen y peso.
- 50

Hasta ahora se ha realizado una descripción general de la invención. Con referencia a la única figura adjunta y al único ejemplo, se realizará ahora una descripción detallada de la misma con el fin de tener una mejor comprensión de los objetivos, características y ventajas de la misma.

- 5 La figura (mostrada por claridad como figura 1) representa un diagrama de bloque de una realización del procedimiento de tratamiento de barro rojo, según la invención, en donde la fusión se lleva a cabo en un reactor de plasma de arco transferido y un reactor sucesivo de condensación de múltiples etapas.

Ejemplos y figuras

Ejemplo 1

En el ensayo, se utilizan barro rojo con una composición como la que se detalla a continuación:

barro rojo húmedo	gramos	%
Al ₂ O ₃	144,38	14,44
Ga ₂ O ₃	trazas	trazas
Fe ₂ O ₃	174,08	17,41
TiO ₂	44,46	4,45
SiO ₂	82,54	8,25
CaCO ₃	53,92	5,39
Na ₂ O	135,38	13,54
V ₂ O ₅	7,08	0,71
ZnO	1,69	0,17
P ₂ O ₅	18,38	1,84
MgO	3,00	0,30
MnO	1,08	0,11
K ₂ O	3,62	0,36
H ₂ O*	99,62	9,96
H ₂ O**	230,77	23,08
Total	1000,00	100,00

* agua de imbibición;

** agua de cristalización,

- 10 Se toman 1000 gramos de muestra y se secan previamente a una temperatura de 110 °C; después de la pérdida del agua de imbibición, la cantidad restante se calina a 800 °C para eliminar el agua de cristalización y desencadenar un conjunto de procesos de transformación. En particular, se observan los siguientes:

la pérdida de óxidos de fósforo por sublimación;

la transformación del CaCO₃ en CaO, con desprendimiento de CO₂.

- 15 La composición del barro después de secado y calcinación se detalla a continuación.

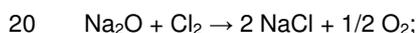
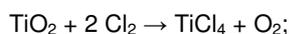
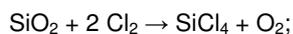
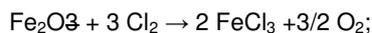
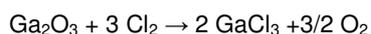
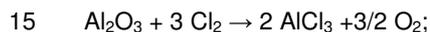
Barro rojo secado y calcinado	gramos	%
Al ₂ O ₃	144,38	23,01
Ga ₂ O ₃	0,172	<0,02
Fe ₂ O ₃	174,08	27,74
TiO ₂	44,46	7,09
SiO ₂	82,54	13,15
CaO	30,21	4,81
Na ₂ O	135,38	21,57
V ₂ O ₅	7,08	1,13
ZnO	1,69	0,27
P ₂ O ₅	0,00	0,00
MgO	3,00	0,48
MnO	1,08	0,17
K ₂ O	3,62	0,58
H ₂ O*	0,00	0,00
H ₂ O**	0,00	0,00
Total	627,52	100,00

Después de secado y calcinación, la muestra de barro se colocó dentro del reactor.

5 El reactor utilizado en el ensayo consiste en un cuerpo externo de acero inoxidable AISI 316, aislado en el interior por recubrimiento con material refractario de alta temperatura. De acuerdo con esta configuración, el cátodo consiste en una barra metálica separada aproximadamente 1 centímetro del ánodo, mientras que el último se coloca en la parte inferior del cuerpo del reactor y consiste en un disco de acero que actúa como un electrodo. El cátodo se mueve con velocidad de rotación constante separado aproximadamente 1 centímetro de la pared del reactor; de tal manera que, además de actuar como un electrodo, también tiene la función de favorecer la remezcla de la muestra a tratar.

10 La muestra, en primer lugar, se funde en atmósfera de argón. Una vez que se ha alcanzado dicho estado fundido, se inyecta cloro a través de boquillas, que se sumergen parcialmente y se colocan parcialmente de forma externa con respecto al baño fundido, para iniciar un conjunto de reacciones; en el ejemplo descrito, se han inyectado aproximadamente 950 g de cloro.

Como resultado de la inyección de cloro, entre otras, se producen las siguientes reacciones:



Al final del proceso, se obtiene un gas, en el que hay cuatro fracciones de interés:

fracción A - enriquecida en cloruro de hierro;

fracción B - enriquecida en cloruro de galio;

fracción C - enriquecida en cloruro de aluminio;

fracción D - enriquecida en tetracloruro de titanio;

fracción E - enriquecida en cloruro de silicio.

- 5 La separación de estas fracciones se produce debido a la condensación fraccionada en la columna por medio del control de las temperaturas de condensación; de esta forma es posible que se separen las cuatro fracciones aún en estado gaseoso, llevando a la condensación de diferentes compuestos por medio del control de la temperatura.

10 El gas se enfría en primer lugar por intercambio de calor y se calienta a una temperatura próxima a 1000 °C. De esta manera, el cloruro de sodio que se produce en la mezcla de gases se condensa en secciones apropiadas refrigeradas y se extrae así de la mezcla de gases de interés; después, el gas residual se mueve hacia la primera columna de condensación, donde la temperatura del gas se reduce aún más para que comience el proceso de condensación fraccionada.

15 En la primera columna, la temperatura es aproximadamente 290 °C, inferior a la temperatura de ebullición del cloruro de hierro. De este modo, el paso al estado líquido del cloruro de hierro se ha obtenido con una pureza del 95,5 %; el resto consiste en trazas de cloruro de galio, cloruro de aluminio, cloruro de titanio y cloruro de silicio como principales componentes del gas. Se obtienen de este modo aproximadamente 310 g de cloruro de hierro.

20 La fracción de gas no condensado, que contiene cloruro de galio, cloruro de aluminio, cloruro de titanio y cloruro de silicio, como productos comercialmente interesantes fluye hasta la segunda columna de condensación, en donde se ajusta y se fija la temperatura aproximadamente a 190-180 °C, inferior a la temperatura de ebullición del cloruro de galio. Operando de esta manera, se ha obtenido el paso al estado líquido de cloruro de galio. Todo el material no condensado es un gas que consiste en cloruro de aluminio, cloruro de titanio y cloruro de silicio como componentes principales. Se obtienen aproximadamente 0,172 g de cloruro de galio. La fracción de gas no condensado, que contiene cloruro de aluminio, cloruro de titanio y cloruro de silicio, como productos comercialmente interesantes, fluye hasta la tercera columna de condensación, en donde se ajusta y se fija la temperatura a 155-160 °C, inferior a la temperatura de ebullición del cloruro de aluminio. Operando de esta manera, se ha obtenido el paso al estado líquido del cloruro de aluminio con una pureza del 96 %; las impurezas consisten principalmente en inclusiones de cloruro de titanio y, parcialmente, cloruro de silicio. Todo el material no condensado es un gas que consiste en cloruro de titanio y cloruro de silicio como componentes principales. Se obtienen aproximadamente 256,3 g de cloruro de aluminio.

30 La fracción de gas no condensado, que contiene cloruro de titanio y cloruro de silicio, como productos comercialmente interesantes, fluye hasta la cuarta columna de condensación, en donde se ajusta y se fija la temperatura aproximadamente a 110-120 °C, inferior a la temperatura de ebullición del cloruro de titanio. Operando de esta manera, se ha obtenido el paso al estado líquido de cloruro de titanio con una pureza del 97,5 %; las impurezas consisten principalmente en cloruro de silicio. El cloruro de silicio no condensado continúa hasta la cuarta columna. Se obtienen aproximadamente 185,15 g de cloruro de titanio.

40 La temperatura en la quinta y última columna se mantiene casi igual a la temperatura ambiente, más baja que la temperatura de ebullición del cloruro de silicio. Operando de esta manera, se ha obtenido la condensación del último producto. Prácticamente la totalidad de los 170 g de cloruro de silicio presente se ha condensado. El porcentaje de cloruro de silicio del total que se presenta en la columna es del 99 %, además de trazas de otros cloruros: aproximadamente 250 g.

Cada una de las fracciones obtenidas de este modo se puede modificar adicionalmente, por medio de destilación y recondensación, en sucesivas secciones específicas.

45 La presente invención ha sido descrita de un modo ilustrativo, pero no limitativo, según las realizaciones preferidas de la misma, pero se debe entender que variaciones y/o modificaciones de la misma pueden ser llevadas a cabo por los expertos en la técnica sin apartarse así del alcance relevante definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para la extracción, de la bauxita y del barro rojo resultante del procesamiento de la bauxita, de productos de interés industrial, separados uno de otro, comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas:
- trituración y/o secado opcional del material a ser tratado a una temperatura de 60 a 250 °C;
- 5
- tostación opcional del material secado;
 - fusión del material resultante;
 - mantenimiento del baño de fusión a una temperatura superior a 1350 °C;
 - insuflado dentro del baño de fusión de cloro, o al menos un compuesto generador de cloro *in situ*, opcionalmente junto con al menos un gas inerte;
- 10
- agitación opcional del baño fundido para favorecer la difusión del cloro y la cinética de las reacciones del proceso;
 - recogida del flujo gaseoso que sale del baño de fusión y envío del mismo, manteniendo la temperatura por encima de 1500 °C, a un sistema de enfriamiento controlado;
 - enfriamiento controlado del flujo gaseoso con condensación selectiva de cloruros de los diferentes elementos de interés industrial, como cloruro de sodio, cloruro de hierro (III), cloruro de galio (III), cloruro de aluminio, cloruro de titanio (IV) y cloruro de silicio (IV);
- 15
- recogida separada de los cloruros individuales
 - purificación adicional opcional de cada uno de los cloruros recogidos por destilación fraccionada.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, en donde el secado se lleva a cabo a una temperatura en el intervalo de 100 a 115 °C.
- 20
3. El procedimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la tostación se lleva a cabo a una temperatura en el intervalo de 600 a 800 °C.
4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la fusión del material a tratar, opcionalmente secado y/o tostado, se lleva a cabo en un reactor seleccionado del grupo que comprende un horno de arco eléctrico (EAF, Electric Arc Furnace) y reactor de plasma de arco transferido.
- 25
5. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el baño de fusión se mantiene a una temperatura en el intervalo de 1400 a 1500 °C.
6. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde los compuestos generadores de cloro en el baño de fusión se seleccionan del grupo que comprende ácido clorhídrico, cloruro de calcio y compuestos organoclorados, tales como tetracloruro de carbono, percloroetileno, cloroformo y mezclas de los mismos.
- 30
7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde, cuando la fusión se lleva a cabo en un reactor de plasma de arco transferido, se usa cloro, opcionalmente generado *in situ*, como gas generador de plasma, opcionalmente en combinación con al menos un gas inerte que genera plasma.
8. El procedimiento según la reivindicación 7, en donde el gas inerte que genera plasma es el argón.
- 35
9. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el enfriamiento controlado del flujo gaseoso con condensación selectiva de cloruros de los diferentes elementos de interés industrial contenidos en el material a tratar se lleva a cabo en un sistema de condensación seleccionado del grupo que consiste en reactores de condensación, columnas de condensación y condensador de haz tubular.
10. El procedimiento según la reivindicación precedente, en donde el sistema de condensación consiste en un sistema de múltiples etapas de reactores de condensación dispuestos en serie.
- 40
11. El procedimiento según la reivindicación 10, en donde las temperaturas de los reactores de múltiples etapas dispuestos en serie se controlan como se indica a continuación con el fin de llevar a cabo la condensación y de este modo la separación de los cloruros deseados:
- 900 - 1400 °C - condensación de cloruro de sodio;
 - 310 °C - condensación de cloruro de hierro (III);
- 45
- 201 °C - condensación de cloruro de galio (III)

- 180 °C - condensación de tricloruro de aluminio;
- 100 – 130 °C - condensación de cloruro de titanio (IV);
- 25 - 50 °C - condensación de cloruro de silicio (IV)

5 12. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el cloro sin reaccionar y el gas inerte utilizado se recuperan y se reciclan.

13. El procedimiento según la reivindicación 12, en donde el cloro sin reaccionar y el gas inerte utilizado se recuperan por medio de tamices moleculares.

