

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 927 263**

51 Int. Cl.:

G21F 9/12	(2006.01) G21F 9/00	(2006.01)
G21F 9/20	(2006.01) G21F 9/30	(2006.01)
G21F 9/02	(2006.01)	
G21F 9/32	(2006.01)	
B01J 8/08	(2006.01)	
B01J 8/18	(2006.01)	
B01J 8/24	(2006.01)	
B01D 39/20	(2006.01)	
B01D 53/04	(2006.01)	
F23G 7/06	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.01.2016 PCT/US2016/013034**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2016 WO16122866**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.01.2016 E 16743831 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.06.2022 EP 3251123**

54 Título: **Aparatos y métodos para el tratamiento de residuos orgánicos radiactivos**

30 Prioridad:

30.01.2015 US 201514609738

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.11.2022

73 Titular/es:

**STUDSVIK, INC. (100.0%)
5605 Glenridge Drive, Suite 705
Atlanta, GA 30342, US**

72 Inventor/es:

**MASON, J., BRADLEY y
ROESENER, WALTER SCOTT**

74 Agente/Representante:

MILTENYI , Peter

ES 2 927 263 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

Aparatos y métodos para el tratamiento de residuos orgánicos radiactivos

Campo de la técnica

Las realizaciones descritas en el presente documento se refieren a aparatos y métodos para el tratamiento de desechos radiactivos.

5

Antecedentes

Existen muchos materiales de residuo peligrosos que son difíciles de eliminar debido a la posibilidad de que puedan contaminar el medio ambiente. Dichos materiales peligrosos incluyen compuestos como elementos radiactivos, metales pesados, azufre y halógenos. Estos materiales se pueden encontrar comúnmente en muchos residuos, productos y compuestos.

10

Habitualmente, dichos residuos peligrosos se entierran o se queman, ambos pueden ser procesos costosos. En consecuencia, es deseable procesar dichos residuos en materiales que se eliminen más fácilmente a costos más bajos. Se conoce un gran número de métodos para el tratamiento de dichos materiales.

15

En el pasado, los materiales de residuo que contienen azufre y halógenos generalmente se han tratado a través de procesos como cementación, pirólisis e incineración. Los procesos de incineración, los incineradores y los procesos relacionados que utilizan la combustión de llama abierta se rigen por leyes de contaminación del aire estrictas y exhaustivas que, por lo general, hacen que los incineradores sean económicamente inviables.

20

Los métodos de pirólisis son generalmente más flexibles y se pueden utilizar para el tratamiento de la mayoría de los materiales de residuo. Sin embargo, corrientes de residuos secundarios que se generan a partir de estos procesos, tal como residuos de partículas, grandes volúmenes de soluciones de depuración o sales secas que son difíciles de solidificar y gases de escape, todavía presentan problemas de proceso y eliminación que deben abordarse. Por ejemplo, la presencia de compuestos que contienen azufre en un fundidor de vitrificación puede hacer que se acumule una acumulación de sales de azufre fundidas sobre el residuo inorgánico fundido (vidrio). Esta acumulación provoca altas tasas de corrosión para el equipo del fundidor. La acumulación también puede tener una alta conductividad eléctrica, lo que provoca un cortocircuito de los electrodos de calentamiento en el fusor. Además, pueden producirse condiciones potencialmente explosivas si grandes cantidades de agua entran en contacto con la acumulación de sal de azufre fundida.

25

30

Sigue existiendo la necesidad de un proceso que no tenga las limitaciones y las deficiencias de los métodos descritos anteriormente para procesar materiales de residuo radiactivos que comprenden compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos.

35

A partir del documento KR 2003 0094612 A, se conoce un aparato para la incineración de residuos radiactivos que incluye el tratamiento de gases de escape.

40

El documento JP 2005 003439 A describe un método para tratar residuos orgánicos radiactivos usando una enzima de descomposición y adsorción de halógeno.

El documento US 2007/0023363 A1 describe un método para la purificación de un efluente acuoso utilizando un recipiente de reacción que tiene un respiradero para la evacuación de gases y un dispositivo de filtración de membrana.

45

El documento WO 00/07193 A2 describe un proceso de pirólisis para la descomposición de residuos orgánicos radiactivos. También, se describe el tratamiento de gases de escape utilizando depuradores húmedos.

La descripción en el presente documento de ciertas ventajas y desventajas de los métodos conocidos no pretende limitar el alcance de las realizaciones.

50

Breve resumen

La invención se define mediante las reivindicaciones 1 y 9. Las reivindicaciones dependientes describen realizaciones ventajosas.

55

En el presente documento se divulgan aparatos para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos, comprendiendo el aparato: un recipiente de reacción que comprende un filtro para realizar el tratamiento térmico de los residuos; y un oxidante térmico. Opcionalmente, el aparato puede comprender además un recipiente de reacción de proceso y/o un recipiente de adsorción que comprende un medio adsorbente para adsorber compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógeno después del tratamiento de los residuos mediante el recipiente de reacción.

60

También se divulgan en el presente documento métodos para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos, que utilizan el aparato en procesos continuos, semicontinuos o por lotes.

5 Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de proceso que muestra un ejemplo de realización de la presente invención.

La figura 2 es un diagrama de proceso que muestra otro ejemplo de realización de la presente invención.

Muchos aspectos de la tecnología inventiva se pueden entender mejor con referencia a los anteriores dibujos. Los elementos y las características que se muestran en los dibujos no están necesariamente a escala, se hace hincapié en ilustrar claramente los principios de realizaciones de ejemplo de la presente tecnología. Es más, ciertas dimensiones pueden exagerarse para ayudar a transmitir visualmente tales principios.

Descripción detallada

La presente invención se refiere en general a aparatos y métodos para el tratamiento, o la descomposición, de residuos orgánicos peligrosos y radiactivos que también comprenden compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos. Por lo general, los aparatos y los métodos facilitan la descomposición de los residuos, de modo que el volumen y la masa de los residuos que se van a eliminar se reducen considerablemente con respecto al volumen y a la masa iniciales. Además, aquellos componentes de los residuos del proceso que se liberan al medio ambiente, gases y vapor de agua, se vuelven inofensivos antes de su liberación. Los aparatos y métodos se pueden usar ventajosamente para reducir la complejidad del proceso y del aparato, reducir el coste de capital, disminuir volúmenes finales de residuos, aumentar la estabilidad de los residuos finales, reducir la solubilidad en agua del residuo final y/o minimizar los residuos de proceso secundarios, en comparación con los métodos de la técnica anterior. Los aparatos y métodos de ejemplo reducen o eliminan eficazmente los compuestos que contienen azufre y los compuestos que contienen halógenos en la alimentación de residuos con una volatilización muy reducida o mínima de estos compuestos. Debido a que los compuestos que contienen azufre y los compuestos que contienen halógenos sustancialmente no se volatilizan, en determinadas realizaciones, no se necesita un depurador húmedo o la producción de residuos secundarios de la solución de lavado húmedo se reduce en gran medida o se evita por completo. Una ventaja adicional de los ejemplos de aparatos y métodos es que la cantidad de residuos de sales, por ejemplo, residuos de sales de sulfatos o haluros, se minimiza o se reduce sustancialmente. Además, los aparatos y métodos de ejemplo facilitan la reducción de los volúmenes de residuos al convertir los compuestos que contienen azufre y los compuestos que contienen halógenos en residuos tratados finales de menor masa y mayor densidad.

Descripción general de aparatos y métodos

Las figuras 1 y 2 son diagramas de proceso que muestran procesos y componentes de realizaciones de ejemplo alternativas. En realizaciones de ejemplo, un aparato comprende un recipiente de reacción que comprende un filtro y un recipiente de oxidación térmica. En realizaciones de ejemplo, el aparato comprende además un recipiente de adsorción o un recipiente que comprende un medio de adsorción, que está aguas abajo del recipiente de reacción y aguas arriba del recipiente de oxidante térmico. En realizaciones de ejemplo, el aparato comprende además un recipiente de reacción de proceso aguas arriba del recipiente de reacción del filtro. En determinadas realizaciones, el aparato comprende un recipiente de proceso, un recipiente de reacción que comprende un filtro, un recipiente de adsorción y un recipiente de oxidación térmica.

Haciendo referencia ahora a la figura 1, se muestra un aparato de ejemplo que incluye un recipiente de reacción que comprende un filtro con un lecho de reacción en el fondo del recipiente, un recipiente de adsorción opcional y un oxidante térmico (o recipiente de oxidación térmica). En el método para tratar residuos utilizando el aparato de ejemplo, la alimentación de residuos **11** y correactivos **23** pasan al recipiente de reacción que comprende un filtro, simultánea o secuencialmente, y forman un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro. La corriente de correactivos **23** también puede contener un medio de lecho inerte, si se desea. El recipiente de reacción que comprende un filtro incluye un filtro en la porción superior del recipiente y un lecho de reacción en el fondo del recipiente. El lecho de reacción comprende residuos, correactivos, y opcionalmente, un medio de lecho inerte. En determinadas realizaciones, la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro que se calienta a una temperatura de, por ejemplo, al menos 250 °C. Gas de fluidización o de inyección **20** pasa al lecho o porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro para agitar los residuos, correactivos y, si está presente, un medio de lecho inerte. El gas de limpieza de pulso de filtro **24** pasa en la porción superior del recipiente. Cuando, o después, los productos minerales se forman en la porción inferior del reactor, residuos sólidos y líquidos **21** se retiran de la porción inferior del reactor. Residuos volatilizados, o gases residuales, se tratan al menos en parte por el filtro en la parte superior del recipiente de reacción que comprende un filtro. Los gases residuales y el gas de proceso **22/32** se envían a un oxidador térmico, opcionalmente a través de un recipiente de adsorción. Si está incluido, el recipiente de adsorción contiene un medio de adsorción, o adsorbente, para adsorber al menos una porción de los gases residuales, por ejemplo, compuestos que contienen azufre volatilizado y/o compuestos que contienen halógenos. El adsorbente **30** pasa al recipiente de adsorción y el adsorbente **31** gastado incluyendo los residuos adsorbidos, salen del recipiente

de adsorción. Los gases residuales restantes y el gas de proceso **32** salen del recipiente de adsorción y entran en el oxidante térmico para su tratamiento posterior. El aire de combustión y el combustible **40** pasan al oxidante térmico y después de la combustión de los gases residuales, por ejemplo, monóxido de carbono, hidrógeno y compuestos orgánicos volátiles, la descarga de gas residual **41** sale del oxidante térmico. La descarga de gas residual comprende sustancialmente dióxido de carbono y vapor de agua.

Haciendo referencia ahora a la figura 2, se muestra un aparato de ejemplo alternativo que incluye un recipiente de reacción de proceso, un recipiente de reacción que comprende un filtro, un recipiente de adsorción opcional y un oxidante térmico (o recipiente de oxidación térmica). En el proceso para tratar residuos utilizando el aparato de ejemplo, la alimentación de residuos **11** y los correactivos **13** pasan al recipiente de reacción del proceso, simultánea o secuencialmente, y forman un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción del proceso. La corriente de correactivos **13** también puede contener un medio de lecho inerte, si se desea. En determinadas realizaciones, la porción inferior del recipiente de reacción del proceso se calienta a una temperatura de, por ejemplo, al menos 150 °C. Opcionalmente, el gas de fluidización o de inyección **10** pasa al lecho o porción inferior del recipiente de reacción del proceso para agitar los residuos, correactivos y, si está presente, un medio de lecho inerte. Después del tratamiento inicial en el recipiente de reacción del proceso, los residuos, correactivos y gas de proceso **12** se transfieren al recipiente de reacción que comprende un filtro. El recipiente de reacción que comprende un filtro incluye un filtro en la porción superior del recipiente y, opcionalmente, el medio de lecho inerte en la porción inferior del recipiente. Correactivos **23** adicionales pueden añadirse al recipiente de reacción que comprende un filtro. La corriente de correactivos **23** también puede contener un medio de lecho inerte, si se desea. Los residuos, correactivos y medio de lecho inerte, si está presente, forman un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro. La porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro se calienta a una temperatura de al menos 250 °C. El gas de fluidización o de inyección **20** pasa al lecho o porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro para agitar los residuos, correactivos y, si está presente, un medio de lecho inerte. El gas de limpieza de pulso de filtro **24** pasa en la porción superior del recipiente. Cuando, o después, los productos minerales se forman en la porción inferior del reactor, residuos sólidos **21** se retiran de la porción inferior del reactor. Los residuos volatilizados, o gases de residuo, se tratan al menos en parte por el filtro en la parte superior del recipiente de reacción que comprende un filtro. Los gases residuales y el gas de proceso **22/32** se envían a un oxidador térmico, opcionalmente a través de un recipiente de adsorción. Si está incluido, el recipiente de adsorción contiene adsorbente para adsorber al menos una porción de los gases residuales, por ejemplo, compuestos que contienen azufre volatilizado y/o compuestos que contienen halógenos. El adsorbente **30** pasa al recipiente de adsorción y el adsorbente **31** gastado incluyendo los residuos adsorbidos, salen del recipiente de adsorción. Los gases residuales restantes y el gas de proceso **32** salen del recipiente de adsorción y entran en el oxidante térmico para su tratamiento posterior. El aire de combustión y el combustible **40** pasan al oxidante térmico y después de la combustión de los gases residuales, por ejemplo, monóxido de carbono, hidrógeno y compuestos orgánicos volátiles, la descarga de gas residual **41** sale del oxidante térmico. La descarga de gas residual comprende sustancialmente dióxido de carbono y vapor de agua.

En realizaciones de ejemplo, se proporciona un aparato para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos, comprendiendo el aparato: (a) un recipiente de reacción que comprende un filtro para realizar el tratamiento térmico de los residuos; y (b) un oxidante térmico. En realizaciones de ejemplo, el aparato, además, comprende: (c) un recipiente de adsorción que comprende uno o más tipos de medios adsorbentes para adsorber compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógeno después del tratamiento de los residuos por el recipiente de reacción que comprende un filtro. En realizaciones de ejemplo, el aparato comprende además un recipiente de reacción de proceso aguas arriba del recipiente de reacción que comprende un filtro.

En realizaciones de ejemplo, se proporciona un aparato para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos, comprendiendo el aparato: (a) un recipiente de reacción de proceso que comprende correactivos para tratar los residuos; (b) un recipiente de reacción que comprende un filtro para realizar el tratamiento térmico de los residuos después del tratamiento de los residuos en el recipiente de reacción del proceso; y (c) un oxidante térmico. En realizaciones de ejemplo, el aparato, además, comprende: (d) un recipiente de adsorción que comprende uno o más tipos de medios adsorbentes para adsorber compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos después del tratamiento de los residuos por los recipientes de reacción.

En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción que comprende un filtro comprende un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro. En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción del proceso comprende un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción del proceso. En realizaciones de ejemplo, el lecho comprende residuos, uno o más correactivos y, opcionalmente, un medio de lecho inerte. En realizaciones de ejemplo, el lecho está parcialmente fluidizado o inyectado.

En realizaciones de ejemplo, la temperatura del recipiente de reacción que comprende un filtro está por debajo de la temperatura a la que se volatilizan los compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos. En realizaciones de ejemplo, la temperatura del recipiente de reacción del proceso está por debajo de la temperatura a la que se volatilizan los compuestos que contienen azufre y/o los compuestos que contienen halógenos.

Métodos de recipiente de reacción único

En una realización a modo de ejemplo, se proporciona un método para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos, comprendiendo el método:

(a) añadir residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos; y uno o más correactivos a un recipiente de reacción que comprende un filtro para formar un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro;

(b) calentar el recipiente de reacción que comprende un filtro a una temperatura en el intervalo de 250 °C a 1050 °C para formar residuos radiactivos pirolizados y gases residuales;

(c) agitar, fluidizar parcialmente o inyectar el lecho del recipiente de reacción que comprende un filtro;

(d) opcionalmente, añadir un gas reactivo al recipiente de reacción para gasificar el carbono en los residuos pirolizados;

(e) eliminar los residuos radiactivos pirolizados del recipiente de reacción que comprende un filtro para su retirada; y

(f) transferir los gases residuales desde el recipiente de reacción que comprende un filtro a un oxidante térmico para la combustión;

en donde el recipiente de reacción que comprende un filtro se puede calentar opcionalmente a una temperatura en el intervalo de 250 °C a 1050 °C antes de la etapa (a).

En una realización a modo de ejemplo, la etapa (b) puede realizarse antes de la etapa (a).

En una realización a modo de ejemplo, se proporciona un método para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos, comprendiendo el método:

(a) calentar un recipiente de reacción que comprende un filtro a una temperatura en el intervalo de 250 °C a 1050 °C;

(b) añadir residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos; y uno o más correactivos al recipiente de reacción que comprende un filtro para formar un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro;

(c) agitar, fluidizar o inyectar parcialmente el lecho mientras se mantiene la temperatura del recipiente de reacción que comprende un filtro en el intervalo de 250 °C a 1050 °C para formar residuos radiactivos pirolizados y gases residuales;

(d) eliminar los residuos radiactivos pirolizados del recipiente de reacción que comprende un filtro para su retirada; y

(e) transferir los gases residuales desde el recipiente de reacción que comprende un filtro a un oxidante térmico para la combustión.

En realizaciones de ejemplo, el método comprende además añadir un gas reactivo al recipiente de reacción que comprende un filtro en la etapa (c) para gasificar el carbono en los residuos pirolizados. En realizaciones de ejemplo, el gas reactivo puede ser un gas oxidante o reductor. En realizaciones de ejemplo, la introducción del gas reactivo se puede utilizar para reducir el contenido de carbono en los residuos pirolizados. En realizaciones de ejemplo, la etapa de añadir un gas reactivo para gasificar el carbono en los residuos pirolizados se realiza a una temperatura por debajo de la que se volatilizan los compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógeno.

En una realización a modo de ejemplo, se proporciona un método para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos, comprendiendo el método:

(a) añadir residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos; y uno o más correactivos a un recipiente de reacción que comprende un filtro para formar un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro;

(b) calentar el recipiente de reacción que comprende un filtro a una temperatura en el intervalo de 250 °C a 1050 °C para formar residuos radiactivos pirolizados y gases residuales;

(c) agitar, fluidizar parcialmente o inyectar el lecho del recipiente de reacción que comprende un filtro;

(d) añadir un gas reactivo al recipiente de reacción para gasificar el carbono en los residuos pirolizados;

(e) eliminar los residuos radiactivos pirolizados del recipiente de reacción que comprende un filtro para su retirada; y

5 (f) transferir los gases residuales desde el recipiente de reacción que comprende un filtro a un oxidante térmico para la combustión.

En una realización a modo de ejemplo, la etapa (b) puede realizarse antes de la etapa (a).

10 En realizaciones de ejemplo, el método comprende además transferir los gases residuales a un recipiente de adsorción que comprende un adsorbente para adsorber compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógeno antes de transferir los gases residuales a un oxidante térmico para la combustión.

15 En realizaciones de ejemplo, el lecho en el recipiente de reacción se agita, por ejemplo, mediante un método de agitación mecánica. En realizaciones de ejemplo, el lecho en el recipiente de reacción se fluidiza parcialmente, por ejemplo, mediante inyección. En realizaciones de ejemplo, el lecho en el recipiente de reacción no se fluidiza.

20 En realizaciones de ejemplo, los residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos; y el uno o más correactivos se premezclan antes de la adición al recipiente de reacción. En realizaciones de ejemplo, los residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos se añaden al recipiente de reacción con el uno o más correactivos. En realizaciones de ejemplo, los residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos se añaden al recipiente de reacción antes que el uno o más correactivos. En realizaciones de ejemplo, los residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos se añaden al recipiente de reacción después del uno o más correactivos.

30 En realizaciones de ejemplo de cualquiera de los métodos descritos en el presente documento, el método comprende añadir un gas reactivo al recipiente de reacción que comprende un filtro para gasificar carbono en los residuos pirolizados. En realizaciones de ejemplo, el gas reactivo puede ser un gas oxidante o reductor. En realizaciones de ejemplo, la introducción del gas reactivo se puede utilizar para reducir el contenido de carbono en los residuos pirolizados, por ejemplo, residuos parcialmente pirolizados. En realizaciones de ejemplo, la etapa de añadir un gas reactivo para gasificar el carbono en los residuos pirolizados se realiza a una temperatura por debajo de la que se volatilizan los compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógeno.

35 En realizaciones de ejemplo, el gas reactivo es un gas oxidante, por ejemplo, nitrógeno con una traza de oxígeno, vapor con trazas de oxígeno u otro gas o mezcla de gases ligeramente oxidante. En realizaciones de ejemplo, el gas reactivo comprende menos del 10 %, 9 %, 8 %, 7 %, 6 % o 5 % de oxígeno. En realizaciones de ejemplo, el gas reactivo comprende del 1 % al 10 %, del 1 % al 8 %, o del 2 % al 5 % de oxígeno. En realizaciones de ejemplo, la cantidad de oxígeno en el gas reactivo es cualquier cantidad adecuada tal que la reacción del oxígeno con los residuos, por ejemplo, residuos que contienen carbono, no producen una cantidad de calor indeseable o perjudicial. Una cantidad excesiva de oxígeno en el gas reactivo puede producir incendios, mezclas de deflagración y puntos calientes, que podría derretir o aglomerar el lecho. En realizaciones de ejemplo, el gas reactivo puede fluidizar total o parcialmente el lecho en el recipiente de reacción.

45 En realizaciones de ejemplo, el lecho comprende residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos; uno o más correactivos, residuos radiactivos pirolizados o una mezcla de los mismos. En realizaciones de ejemplo, el lecho comprende además un medio inerte. En realizaciones de ejemplo, el lecho no contiene medios inertes.

50 En realizaciones de ejemplo, el método comprende además inyectar un gas limpio pulsante para limpiar el filtro. En realizaciones de ejemplo, el pulso de gas limpio es un gas inerte, por ejemplo, gas nitrógeno. En realizaciones de ejemplo, el gas de pulso se usa para limpiar la torta de filtración del filtro.

55 En realizaciones de ejemplo, el método es un proceso continuo. En realizaciones de ejemplo, el método es un proceso discontinuo o semicontinuo.

Métodos de dos recipientes de reacción

60 En una realización a modo de ejemplo, se proporciona un método para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos, comprendiendo el método:

65 (a) añadir residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos; y uno o más correactivos a un recipiente de reacción del proceso para formar un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción del proceso;

- (b) calentar el recipiente de reacción del proceso a una temperatura en el intervalo de 35 °C a 1050 °C;
- (c) agitar, fluidizar parcialmente o inyectar el lecho mientras se mantiene la temperatura del recipiente de reacción del proceso en el intervalo de 35 °C a 1050 °C para formar residuos radiactivos y gases residuales total o parcialmente pirolizados;
- (d) transferir los residuos radiactivos total o parcialmente pirolizados y los gases residuales del recipiente de reacción del proceso a un recipiente de reacción que comprende un filtro para formar un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro;
- (e) calentar el recipiente de reacción que comprende un filtro a una temperatura en el intervalo de 250 °C a 1050 °C;
- (f) agitar, fluidizar o inyectar parcialmente el lecho del recipiente de reacción que comprende un filtro mientras se mantiene la temperatura del recipiente de reacción que comprende un filtro en el intervalo de 250 °C a 1050 °C para formar residuos radiactivos y gases residuales total o parcialmente pirolizados;
- (g) opcionalmente, añadir un gas reactivo al recipiente de reacción que comprende un filtro para gasificar el carbono en los residuos parcialmente pirolizados;
- (h) eliminar los residuos radiactivos totalmente pirolizados del recipiente de reacción que comprende un filtro para su retirada; y
- (i) transferir los gases residuales desde el recipiente de reacción que comprende un filtro a un oxidante térmico para la combustión;
- en donde el recipiente de reacción del proceso puede calentarse opcionalmente a una temperatura en el intervalo de 35 °C a 1050 °C antes de la etapa (a); y en donde el recipiente de reacción que comprende un filtro puede calentarse opcionalmente a una temperatura en el intervalo de 250 °C a 1050 °C antes de la etapa (d).
- En una realización a modo de ejemplo, la etapa (b) puede realizarse antes de la etapa (a).
- En una realización a modo de ejemplo, la etapa (e) puede realizarse antes de la etapa (d).
- En una realización a modo de ejemplo, se proporciona un método para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos, comprendiendo el método:
- (a) calentar un recipiente de reacción del proceso a una temperatura en el intervalo de 35 °C a 1050 °C;
- (b) añadir residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos; y uno o más correactivos a un recipiente de reacción del proceso para formar un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción del proceso;
- (c) agitar, fluidizar parcialmente o inyectar el lecho mientras se mantiene la temperatura del recipiente de reacción del proceso en el intervalo de 35 °C a 1050 °C para formar residuos radiactivos y gases residuales total o parcialmente pirolizados;
- (d) transferir los residuos radiactivos y los gases residuales total o parcialmente pirolizados desde el recipiente de reacción del proceso a un recipiente de reacción que comprende un filtro a una temperatura en el intervalo de 250 °C a 1050 °C para formar un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro;
- (e) agitar, fluidizar o inyectar parcialmente el lecho mientras se mantiene la temperatura del recipiente de reacción que comprende un filtro en el intervalo de 250 °C a 1050 °C para formar residuos radiactivos totalmente pirolizados y gases residuales;
- (f) eliminar los residuos radiactivos pirolizados del recipiente de reacción que comprende un filtro para su retirada; y
- (g) transferir los gases residuales desde el recipiente de reacción que comprende un filtro a un oxidante térmico para la combustión.
- En una realización a modo de ejemplo, se proporciona un método para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos, comprendiendo el método:
- (a) añadir residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos; y uno o más correactivos a un recipiente de reacción del proceso para formar

un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción del proceso;

(b) calentar el recipiente de reacción del proceso a una temperatura en el intervalo de 35 °C a 1050 °C;

5 (c) agitar, fluidizar parcialmente o inyectar el lecho mientras se mantiene la temperatura del recipiente de reacción del proceso en el intervalo de 35 °C a 1050 °C para formar residuos radiactivos y gases residuales total o parcialmente pirolizados;

10 (d) transferir los residuos radiactivos total o parcialmente pirolizados y los gases residuales del recipiente de reacción del proceso a un recipiente de reacción que comprende un filtro para formar un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro;

(e) calentar el recipiente de reacción que comprende un filtro a una temperatura en el intervalo de 250 °C a 1050 °C;

15 (f) agitar, fluidizar o inyectar parcialmente el lecho del recipiente de reacción que comprende un filtro mientras se mantiene la temperatura del recipiente de reacción que comprende un filtro en el intervalo de 250 °C a 1050 °C para formar residuos radiactivos y gases residuales total o parcialmente pirolizados;

20 (g) opcionalmente, añadir un gas reactivo al recipiente de reacción que comprende un filtro para gasificar el carbono en los residuos parcialmente pirolizados;

(h) eliminar los residuos radiactivos totalmente pirolizados del recipiente de reacción que comprende un filtro para su retirada; y

25 (i) transferir los gases residuales desde el recipiente de reacción que comprende un filtro a un oxidante térmico para la combustión.

En una realización a modo de ejemplo, la etapa (b) puede realizarse antes de la etapa (a). En una realización a modo de ejemplo, la etapa (e) puede realizarse antes de la etapa (d).

30 En realizaciones de ejemplo, el método comprende además transferir los gases residuales a un recipiente de adsorción que comprende un adsorbente para adsorber compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógeno antes de transferir los gases residuales a un oxidante térmico para la combustión.

35 En realizaciones de ejemplo, el lecho en el recipiente de reacción del proceso se agita, por ejemplo, mediante un método de agitación mecánica. En realizaciones de ejemplo, el lecho en el recipiente de reacción del proceso está parcialmente fluidizado. En realizaciones de ejemplo, se inyecta el lecho en el recipiente de reacción del proceso. En realizaciones de ejemplo, el lecho en el recipiente de reacción del proceso no se fluidiza.

40 En realizaciones de ejemplo, el lecho en el recipiente de reacción que comprende un filtro se agita, por ejemplo, mediante un método de agitación mecánica. En realizaciones de ejemplo, el lecho en el recipiente de reacción que comprende un filtro está parcialmente fluidizado. En realizaciones de ejemplo, se inyecta el lecho en el recipiente de reacción que comprende un filtro. En realizaciones de ejemplo, el lecho en el recipiente de reacción que comprende un filtro no se fluidiza.

45 En realizaciones de ejemplo, los residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos; y el uno o más correactivos se premezclan antes de la adición al recipiente de reacción de proceso. En realizaciones de ejemplo, los residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos se añaden al
50 recipiente de reacción del proceso con el uno o más correactivos. En realizaciones de ejemplo, los residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos se añaden al recipiente de reacción del proceso antes que el uno o más correactivos. En realizaciones de ejemplo, los residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos se añaden al recipiente de reacción del proceso después del uno o más correactivos.

55 Como se menciona en el presente documento, los residuos radiactivos completamente pirolizados no contienen sustancialmente carbono, es decir, menos del 1 % en peso. Como se menciona en el presente documento, los residuos radiactivos parcialmente pirolizados contienen carbono o compuestos orgánicos. En realizaciones de ejemplo de cualquiera de los métodos anteriores, los residuos radiactivos parcialmente pirolizados pueden gasificarse para
60 convertir el carbono de los residuos en dióxido de carbono, monóxido de carbono o compuestos orgánicos volátiles. En realizaciones de ejemplo, los residuos radiactivos parcialmente pirolizados pueden gasificarse, por ejemplo, añadiendo un gas reactivo al recipiente de reacción que comprende los residuos radiactivos parcialmente pirolizados y permitiendo que el gas reactivo reaccione con los residuos radiactivos parcialmente pirolizados para formar residuos radiactivos totalmente pirolizados.

65 En realizaciones de ejemplo, los residuos radiactivos total o parcialmente pirolizados y los gases residuales se

transfieren al recipiente de reacción que comprende un filtro sin añadir uno o más correactivos. En realizaciones de ejemplo, los residuos radiactivos total o parcialmente pirolizados y los gases residuales y uno o más correactivos se mezclan previamente antes de añadirlos al recipiente de reacción que comprende un filtro. En realizaciones de ejemplo, los residuos radiactivos total o parcialmente pirolizados y los gases residuales se añaden al recipiente de reacción que comprende un filtro con uno o más correactivos. En realizaciones de ejemplo, los residuos radiactivos total o parcialmente pirolizados y los gases residuales se añaden al recipiente de reacción que comprende un filtro antes de uno o más correactivos. En realizaciones de ejemplo, los residuos radiactivos total o parcialmente pirolizados y los gases residuales se añaden al recipiente de reacción que comprende un filtro después de uno o más correactivos.

En realizaciones de ejemplo, el gas reactivo es un gas oxidante, incluyendo, por ejemplo, nitrógeno con una traza de oxígeno, vapor, y vapor con una traza de oxígeno. Alternativamente, los gases reactivos pueden contener gases reductores, incluyendo, por ejemplo, nitrógeno con hidrógeno; nitrógeno con amoníaco; vapor con hidrógeno; y vapor con hidrógeno, amoníaco y/o vapores de compuestos orgánicos volátiles. En realizaciones de ejemplo, el gas reactivo, o una mezcla de gases reactivos, puede fluidizar total o parcialmente el lecho en el recipiente de reacción. En realizaciones de ejemplo, el gas reactivo, o una mezcla de gases reactivos, se puede añadir al recipiente de reacción del proceso y/o al recipiente de reacción que comprende un filtro. El gas reactivo, o una mezcla de gases reactivos, agregado al recipiente de reacción del proceso puede ser el mismo o diferente del gas reactivo, o una mezcla de gases reactivos, que se puede añadir al recipiente de reacción que comprende el filtro.

En realizaciones de ejemplo, el lecho en el recipiente de reacción del proceso comprende residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos; uno o más correactivos, residuos radiactivos pirolizados o una mezcla de los mismos. En realizaciones de ejemplo, el lecho en el recipiente de reacción del proceso comprende además un medio inerte. En realizaciones de ejemplo, el lecho en el recipiente de reacción del proceso no contiene medios inertes.

En realizaciones de ejemplo, el método comprende además inyectar un gas limpio pulsante para limpiar el filtro en el recipiente de reacción que comprende un filtro. En realizaciones de ejemplo, el pulso de gas limpio es un gas inerte, por ejemplo, gas nitrógeno. En realizaciones de ejemplo, el gas pulsante se usa para limpiar la torta de filtración del filtro en el recipiente de reacción que comprende un filtro.

En realizaciones de ejemplo, la temperatura del reactor de proceso está a una temperatura diferente de la del recipiente de reacción que comprende un filtro. En realizaciones de ejemplo, la temperatura del reactor de proceso es superior a la del recipiente de reacción que comprende un filtro. En realizaciones de ejemplo, la temperatura del reactor de proceso es inferior a la del recipiente de reacción que comprende un filtro.

En realizaciones de ejemplo, la reformación con vapor no se produce en el recipiente de reacción que comprende el filtro. En determinadas realizaciones, la pirólisis en un recipiente de reacción que comprende un filtro se produce en condiciones oxidantes o en presencia de una pequeña cantidad de oxígeno. En otras realizaciones, el recipiente de reacción que comprende un filtro se produce en condiciones reductoras o en presencia de una cantidad de gases reductores tales como, hidrógeno, amoníaco y/o vapores orgánicos volátiles.

En realizaciones de ejemplo, el método es un proceso continuo. En realizaciones de ejemplo, el método es un proceso discontinuo o semicontinuo.

Residuos

Cualquier corriente de residuos o productos que contenga compuestos orgánicos y compuestos que contengan azufre y/o compuestos que contengan halógenos puede ser tratado por los aparatos y métodos de ejemplo. En realizaciones de ejemplo, los residuos a tratar mediante los aparatos y los métodos de ejemplo son residuos radiactivos, por ejemplo, residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos. Los residuos radiactivos son residuos que comprenden material radiactivo o radionúclidos. Las fuentes comunes de residuos radiactivos incluyen subproductos de la generación de energía nuclear y otras aplicaciones de fisión nuclear o tecnología nuclear, tal como la investigación y la medicina. Los residuos radiactivos son peligrosos para la mayoría de las formas de vida y el medio ambiente, y están regulados por agencias gubernamentales para proteger la salud humana y el medio ambiente.

En realizaciones de ejemplo, los residuos a tratar por los aparatos y métodos de ejemplo son generalmente de instalaciones nucleares. En realizaciones de ejemplo, el residuo comprende además metales alcalinos y/o metales pesados. En realizaciones de ejemplo, el residuo comprende resina de intercambio iónico, por ejemplo, resina de intercambio iónico contaminada. En realizaciones de ejemplo, la alimentación de residuos puede ser seca o húmeda. La alimentación de residuos puede comprender líquidos, lodos líquidos, fangos, sólidos y gases. La alimentación de residuos puede tener cualquier valor de pH y no necesita ser preprocesada antes de ser introducida en los ejemplos de métodos de tratamiento. En realizaciones de ejemplo, los residuos comprenden del 5 % al 100 % de contenido carbónico u orgánico en peso. En determinadas realizaciones, los residuos no contienen más del 10 % en peso de compuestos que contienen nitratos.

Correactivos

En realizaciones de ejemplo, se añaden uno o más correactivos al recipiente de reacción que comprende un filtro, simultánea o secuencialmente, con la alimentación de residuos. En realizaciones de ejemplo, se añaden uno o más correactivos al recipiente de reacción que comprende un filtro con la alimentación de residuos. En realizaciones de ejemplo, se añaden uno o más correactivos al recipiente de reacción que comprende un filtro antes de la alimentación de residuos. En determinadas realizaciones, los correactivos se añaden al recipiente de reacción del proceso. En determinadas realizaciones, los correactivos no se añaden al recipiente de reacción del proceso.

En realizaciones de ejemplo, se pueden añadir uno o más correactivos para lograr la mineralización de uno o más compuestos en el residuo. En realizaciones de ejemplo, se pueden añadir uno o más correactivos para reaccionar con compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógeno en los residuos para formar compuestos no volátiles y/o insolubles en agua. En realizaciones de ejemplo, se pueden añadir uno o más correactivos para que reaccionen con metales alcalinos en los residuos para formar compuestos de alto punto de fusión y/o insolubles en agua. En realizaciones de ejemplo, se pueden añadir uno o más correactivos para que reaccionen con los metales en los residuos para formar espinelas u otros compuestos insolubles en agua.

Los compuestos correactivos serán conocidos por los expertos en la técnica y cualquier compuesto correactivo adecuado se puede usar en los ejemplos de aparatos y métodos según sea necesario o deseado. Correactivos de ejemplo tales como cal, arcilla, arcilla de caolín, compuestos de magnesio, compuestos de calcio, compuestos de aluminio, compuestos de fosfato, compuestos de hierro, compuestos de zinc, compuestos de níquel, compuestos de estaño, compuestos de cerio y compuestos de sílice, pueden usarse. En determinadas realizaciones, los correactivos pueden mezclarse con la alimentación residual antes de introducirla en el recipiente de reacción que comprende un filtro. Esta etapa de mezcla permite que los correactivos, por ejemplo, unan los compuestos que contienen azufre, compuestos que contienen halógenos, metales alcalinos, ciertos elementos radiactivos y metales pesados en una forma mineral estable. Alternativamente, los correactivos se pueden añadir por separado en el recipiente de reacción que comprende un filtro sin mezclar primero los correactivos con la alimentación de residuos. En ejemplos de realización, el uno o más correactivos para el tratamiento de residuos que comprenden compuestos que contienen azufre en condiciones reductoras en el recipiente de reacción del proceso o el recipiente de reacción que comprende un filtro se seleccionan del grupo que consiste en: compuestos de calcio, zinc, hierro, níquel, estaño, metales alcalinos, tal como sodio, potasio y litio; metales alcalinotérreos, tal como magnesio y bario; aluminio; bismuto; manganeso; molibdeno; fósforo; silicio; plata; estroncio; estaño; silicatos de calcio; adsorbentes de H_2S adsorbentes; u otros compuestos que pueden reaccionar con compuestos que contienen azufre para formar sulfuros y/o H_2S estables; y mezclas de los mismos.

En realizaciones de ejemplo, el uno o más correactivos para el tratamiento de residuos que comprenden compuestos que contienen azufre en condiciones oxidantes en el recipiente de reacción del proceso o el recipiente de reacción que comprende un filtro se seleccionan del grupo que consiste en: compuestos de calcio, magnesio, bario, sodio, potasio, litio, aluminio, hierro, níquel, manganeso, arcillas, silicatos de calcio u otros compuestos que pueden reaccionar con compuestos que contienen azufre para formar compuestos estables de sulfato y sulfito con óxidos de azufre (SO_4^{2-} y SO_3^{2-}), y mezclas de los mismos. En realizaciones de ejemplo, el residuo y uno o más correactivos se calientan a una temperatura suficiente para lograr la conversión de los compuestos que contienen azufre en los compuestos de sulfato o sulfito, pero menos que la temperatura a la cual los sulfatos y sulfitos se descomponen o funden. En determinadas realizaciones, los residuos y uno o más correactivos se calientan a una temperatura de 884 °C o menos, por ejemplo, para evitar la descomposición o el derretimiento del sulfato de sodio.

En realizaciones de ejemplo, el uno o más correactivos se añaden para convertir los compuestos que contienen azufre en compuestos de sulfuro, por ejemplo, sulfuro de hierro (por ejemplo, FeS o FeS_2), sulfuro de calcio, sulfuro de zinc y/u otros sulfuros de alta densidad. En realizaciones de ejemplo, el residuo y uno o más correactivos se calientan a una temperatura suficiente para lograr la conversión de los compuestos que contienen azufre en los compuestos de sulfuro, pero menos que la temperatura a la que se gasifican los sulfuros, por ejemplo, por oxidación o descomposición térmica. En determinadas realizaciones, los residuos y uno o más correactivos se calientan a una temperatura de 602 °C o menos, por ejemplo, para evitar la descomposición de Fe_2S . En determinadas realizaciones, los residuos y uno o más correactivos se calientan a una temperatura de 1050 °C o menos, por ejemplo, para evitar la descomposición del sulfuro de calcio o sulfuro de zinc.

En realizaciones de ejemplo, el uno o más correactivos para el tratamiento de residuos que comprenden compuestos que contienen halógeno en el recipiente de reacción del proceso o el recipiente de reacción que comprende un filtro se seleccionan del grupo que consiste en: compuestos de calcio, zinc, hierro, níquel, sodio, potasio, litio, aluminio, magnesio, bario, bismuto, cerio, cobalto, manganeso, molibdeno, plata, estaño, titanio, circonio, arcillas, silicatos de calcio u otros compuestos que pueden reaccionar con compuestos que contienen halógenos para formar sales o compuestos estables, compuestos de haluros no volátiles y mezclas de los mismos. En realizaciones de ejemplo, el residuo y uno o más correactivos se calientan a una temperatura suficiente para lograr la conversión de los compuestos que contienen halógeno en sales o compuestos de haluro, pero menos que la temperatura a la que las sales o haluros se descomponen o funden. En determinadas realizaciones, los residuos y uno o más correactivos se calientan a una temperatura de 801 °C o menos, por ejemplo, para evitar la descomposición o el derretimiento del cloruro de sodio.

- Preferiblemente, menos del 20 % en peso de correctivos no unidos están presentes en el recipiente de reacción que comprende un filtro en cualquier momento dado durante el proceso para no aumentar innecesariamente el peso y el volumen de los residuos sólidos pirolizados. En consecuencia, la cantidad de correctivos dentro del lecho del
- 5 recipiente de reacción que comprende un filtro se puede controlar para que las reacciones se produzcan con la menor cantidad de correctivo. Sin embargo, la presencia de pequeñas cantidades de correctivos puede ayudar a prevenir la aglomeración hasta el punto de impactar negativamente en el tratamiento de los residuos en el recipiente de reacción que comprende un filtro.
- 10 Un problema al que se enfrenta la eliminación de algunos residuos de las instalaciones nucleares es que los productos formados por procesos de tratamiento típicos son solubles en agua. En el caso de que estos productos hidrosolubles también contengan isótopos radiactivos, una estabilización adicional de los productos como inyección de lechada, solidificación o vitrificación, antes de la eliminación será necesario para evitar la disolución en agua del producto enterrado en el agua subterránea. En consecuencia, la formación de minerales insolubles en agua es ventajosa y
- 15 deseable, porque son más fáciles de desechar y procesar. También es deseable seleccionar y producir un producto que no sea higroscópico. El término no higroscópico se refiere a compuestos que no forman hidratos. Sólidos que forman hidratos, tal como el carbonato de sodio, pueden hincharse con el tiempo y pueden romperse o dañar los contenedores en los que se almacenan.
- 20 Los correctivos pueden unir metales pesados, compuestos que contienen azufre y compuestos que contienen halógenos para formar sulfuros metálicos sólidos, espinelas o matriz de productos de calcio, u otros productos estables no volátiles. El gas de escape resultante normalmente contiene < 5 % de S, Cl y F entrante. Esta alta retención de gases ácidos normales en el producto sólido permite que las soluciones depuradoras se reciclen al recipiente de reacción, eliminando así los residuos de la solución depuradora secundaria. Un correctivo específico que se puede
- 25 usar es la cal. Los compuestos que contienen azufre y los compuestos que contienen halógeno se pueden unir directamente mediante la adición de cal (CaO) para formar CaSO_4 (yeso) o CaCl_2 en el depurador o el S como SO_4 puede unirse a la estructura cristalina de ciertas formas minerales como la nefelina o el Cl puede unirse a la estructura cristalina de ciertas formas minerales convirtiéndolo así en sodalita insoluble en agua.
- 30 Otra ventaja de la adición de correctivos es la formación de compuestos de punto de fusión más alto que darán como resultado una menor aglomeración en el recipiente de reacción que comprende un filtro. Aunque la formación de compuestos con puntos de fusión más altos ayuda a prevenir la aglomeración en el recipiente de reacción, se prefiere cierta aglomeración en la presente invención para aumentar el tamaño de los productos minerales. Sin embargo, no es deseable tener aglomeración hasta el punto de cesar la fluidización del reactor. Por lo tanto, otra característica de
- 35 la presente invención es agregar solo las cantidades apropiadas de correctivo para mineralizar efectivamente los compuestos que contienen azufre, compuestos que contienen halógenos, metales alcalinos, fosfatos y/o compuestos de boro, y también para evitar la aglomeración hasta el punto de afectar negativamente al tratamiento de los residuos en el recipiente de reacción que comprende un filtro.
- 40 En realizaciones de ejemplo, el porcentaje de uno o más correctivos agregados para unir los compuestos que contienen azufre, compuestos que contienen halógenos, metales alcalinos, fosfatos y/o compuestos de boro es superior al 50 % de relación estequiométrica, con un intervalo preferido del 100 % al 125 % de relación estequiométrica, para producir el producto mineral deseado. Por ejemplo, para producir nefelina, las cantidades
- 45 preferidas de correctivo a compuesto de residuo son las siguientes: 1 a 1,25 moles de arcilla de caolín ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-2-SiO}_2$) con 2 moles de Na. En realizaciones de ejemplo, los compuestos que contienen azufre en los residuos sólidos tratados o pirolizados son sustancialmente en forma de FeS_2 , FeS , ZnS , CaS o mezclas de los mismos. En una realización preferida, los compuestos que contienen azufre en los residuos sólidos tratados o pirolizados son sustancialmente en forma de FeS_2 . FeS_2 produce el menor volumen de compuestos que contienen azufre. En realizaciones de ejemplo,
- 50 cuando los compuestos que contienen azufre en los residuos sólidos tratados o pirolizados son sustancialmente en forma de FeS_2 , los residuos no necesitan someterse a un tratamiento posterior con, por ejemplo, un depurador, tal como un depurador húmedo. Sin embargo, si el tipo de residuo y las condiciones de operación son tales que FeS_2 no se forma fácilmente o la temperatura de funcionamiento deseada del recipiente de reacción está por encima de la temperatura de descomposición del FeS_2 , Se puede formar FeS o se pueden añadir correctivos alternativos para producir otros reactivos densos, sulfuros resistentes a altas temperaturas, sulfuros insolubles en agua, tales como:
- 55 CaS , ZnS_2 , SnS y/o SnS_2 . En realizaciones de ejemplo, los compuestos que contienen azufre en los residuos sólidos tratados o pirolizados se someten a un tratamiento adicional con un depurador húmedo. En realizaciones de ejemplo, los compuestos que contienen azufre en los residuos sólidos tratados o pirolizados no se someten a un tratamiento posterior con un depurador húmedo.
- 60 En realizaciones de ejemplo, el uno o más correctivos comprenden compuestos de calcio, silicato de calcio y/o arcilla para producir una composición rica en silicato de calcio. La composición rica en calcio y silicio se puede usar como un cemento de alta resistencia con la adición de agua.
- 65 En realizaciones de ejemplo, los correctivos se añaden al recipiente de reacción del proceso o al recipiente de reacción que comprende un filtro para producir compuestos minerales que son sustancialmente insolubles en agua. En determinadas realizaciones, el uno o más correctivos usados no cambian el estado de valencia de los iones

metálicos en los residuos.

Recipiente de reacción que comprende un filtro

- 5 En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción que comprende un filtro comprende un recipiente o reactor cerrado con entradas para la alimentación de residuos **11**, gas de fluidización o de inyección **20**, correactivos y/o un medio de lecho inerte **23**, y gas limpio de pulso de filtro **24**, por ejemplo, nitrógeno; salidas para el gas de proceso **22/32** y residuos **21**; un filtro en la porción superior del recipiente; y una porción inferior del recipiente adecuada para
- 10 contener un lecho parcialmente fluidizado o inyectado que comprende correactivos y residuos. En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción que comprende un filtro puede ser de cualquier tamaño adecuado para realizar el tratamiento de residuos. En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción que comprende un filtro es donde los residuos se someten a pirólisis y a gases reactivos opcionales. En realizaciones de ejemplo, el filtro está incluido para eliminar los sólidos del gas de proceso **22/32** antes del paso al incinerador térmico y opcionalmente, al recipiente de adsorción. En realizaciones de ejemplo, el filtro está hecho de metal sinterizado o elementos cerámicos. En
- 15 determinadas realizaciones, se puede añadir un gas reactivo al recipiente de reacción que comprende un filtro para gasificar el carbono en los residuos radiactivos. En determinadas realizaciones, el recipiente de reacción que comprende un filtro es el único recipiente utilizado para la pirólisis en el aparato para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos. En determinadas realizaciones, el recipiente de reacción que comprende un filtro es el segundo de dos
- 20 recipientes utilizados para la pirólisis en el aparato para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógeno.

En realizaciones de ejemplo, la temperatura mínima de funcionamiento para el recipiente de reacción que comprende un filtro es de 150 °C o 250 °C. En realizaciones de ejemplo, la temperatura mínima de funcionamiento del recipiente

25 de reacción que comprende un filtro es la temperatura a la que se produce la evaporación o pirólisis de los compuestos orgánicos de los residuos, por ejemplo, 35 °C cuando los residuos contengan disolventes orgánicos de bajo punto de ebullición o más de 350 °C para residuos con madera, celulosa, plástico de PVC, resinas y otros polímeros orgánicos de cadena larga.

30 En realizaciones de ejemplo, la temperatura máxima de funcionamiento para el recipiente de reacción que comprende un filtro es de 1050 °C, 884 °C, 801 °C, 602 °C, 600 °C, 420 °C, o la temperatura a la que los compuestos de sulfuros, sulfatos, sulfitos y/o haluro formados a partir de la reacción con uno o más correactantes y los residuos comienzan a descomponerse o fundirse.

35 En realizaciones de ejemplo, la temperatura del recipiente de reacción que comprende un filtro está en el intervalo de 150 °C a 1050 °C, 150 °C a 800 °C, o 200 °C a 550 °C.

En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción que comprende un filtro se usa para tratar residuos radiactivos que comprenden resina de intercambio iónico. En realizaciones de ejemplo, cuando el recipiente de reacción que

40 comprende un filtro se usa para tratar resina de intercambio iónico, la temperatura de funcionamiento del recipiente de reacción que comprende un filtro está en el intervalo de 250 °C a 800 °C, o de 250 °C a 600 °C.

En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción que comprende un filtro puede funcionar a una ligera presión negativa o a presiones positivas, por ejemplo, una presión de 7 a 115, de 10 a 25 o de 12 a 20 psia.

45

En realizaciones de ejemplo, el gas de fluidización o de inyección para el lecho parcialmente fluidizado o inyectado del recipiente de reacción que comprende un filtro que comprende correactivos y residuos es, por ejemplo, vapor, hidrógeno, oxígeno, metano, amoníaco, dióxido de carbono, monóxido de carbono, gases inertes, gases oxidantes, gases reductores, vapores orgánicos volátiles y mezclas de los mismos. En determinadas realizaciones, se introduce vapor en el recipiente de reacción que comprende un filtro. En determinadas realizaciones, no se introduce vapor en el recipiente de reacción que comprende un filtro. En determinadas realizaciones, el gas de fluidización o de inyección no es un gas reductor. En realizaciones de ejemplo, el gas de fluidización o de inyección se inyecta en el fondo del recipiente de reacción que comprende un filtro suficiente para agitar y mezclar los sólidos en el lecho. En realizaciones de ejemplo, el gas de fluidización o de inyección es, por ejemplo, una mezcla de nitrógeno con 3 a 8 % de oxígeno.

50 En realizaciones de ejemplo, el gas de fluidización o de inyección es cualquier gas que puede oxidar el carbono en los residuos o desechos mientras mantiene el lecho de sólidos a menos de 550 °C para asegurar que cualquier FeS₂ no se descompone.

55

En determinadas realizaciones, el lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro está parcialmente fluidizado. En realizaciones de ejemplo, un lecho parcialmente fluidizado es un lecho de sólidos que se agita por medios mecánicos o por la introducción localizada del gas de inyección donde el flujo del gas de inyección no es suficiente, o el flujo no es suficientemente uniforme, para fluidizar completamente todos los sólidos en el lecho, por ejemplo, mantener los sólidos por encima de su velocidad mínima de fluidización. Para el lecho parcialmente fluidizado o inyectado, el impulso del gas de inyección inducirá la mezcla en el lecho de sólidos sin fluidizar la mayor parte de los sólidos. En determinadas realizaciones, el lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro se inyecta. En determinadas realizaciones, el lecho en la porción inferior del recipiente de reacción

60

65

que comprende un filtro no se fluidiza. En determinadas realizaciones, no se añade gas de fluidización o de inyección al lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro. En determinadas realizaciones, el lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro se agita mecánicamente. En determinadas realizaciones, el lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro se agita mecánicamente y no se fluidiza ni se inyecta.

En realizaciones de ejemplo, cuando el recipiente de reacción que comprende un filtro se utiliza para el tratamiento de residuos radiactivos después del tratamiento mediante un recipiente de proceso de reacción, el recipiente de reacción que comprende un filtro no se fluidiza uniformemente. Una de las principales razones por las que el lecho en el recipiente de reacción que comprende un filtro no se fluidiza es que los sólidos del recipiente de reacción del proceso son generalmente muy finos y no se pueden fluidizar uniformemente debido al pequeño tamaño de las partículas.

En realizaciones de ejemplo, el lecho parcialmente fluidizado o inyectado que comprende correactivos y residuos comprende además un medio de lecho inerte, por ejemplo, un medio cerámico inerte tal como sílice, mullita, corundo, corderita o alúmina; y otros tipos de medios inertes, tal como bauxita, cuarzo o arena de sílice. En determinadas realizaciones, el medio de lecho inerte comprende bauxita. En determinadas realizaciones, el medio de lecho inerte comprende cuentas de alúmina. El tamaño de las cuentas de alúmina está en el intervalo de 100 a 5000 micrómetros, o de 200 a 1000 micrómetros, en diámetro. Las cuentas de este tamaño no se elutrian fácilmente fuera del recipiente y, por lo tanto, minimizan el arrastre. En determinadas realizaciones, el medio de lecho inerte no comprende alúmina. En determinadas realizaciones, el lecho parcialmente fluidizado o inyectado que comprende correactivos y residuos no comprende medios de lecho inertes.

En determinadas realizaciones, el lecho parcialmente fluidizado o inyectado del recipiente de reacción que comprende un filtro comprende una zona o porción oxidante. En determinadas realizaciones, el lecho parcialmente fluidizado o inyectado del recipiente de reacción que comprende un filtro no contiene un reductor, o zona o porción privada de oxígeno. En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción que comprende un filtro puede funcionar en condiciones oxidantes. En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción que comprende un filtro puede funcionar en condiciones reductoras. En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción que comprende un filtro no se hace funcionar en condiciones reductoras.

En realizaciones de ejemplo, el filtro en el recipiente de reacción que comprende un filtro comprende o consiste esencialmente en un conjunto de medio cerámico o de metal sinterizado dispuestos como velas o elementos de filtro, y las velas o elementos de filtro pueden ser, por ejemplo, sellado en una placa de tubos cerca de la parte superior del recipiente. Los elementos del filtro se limpian por pulsos usando un gas inerte para eliminar la torta de filtro acumulada que se acumulará en la superficie exterior de los elementos del filtro. El tamaño del filtro varía según sea necesario para acomodar la carga de sólidos y los flujos de gas en el recipiente.

Oxidante térmico

Un oxidante térmico es una unidad de proceso para el control de la contaminación del aire en muchas plantas químicas que descompone gases peligrosos a alta temperatura y los libera a la atmósfera. En realizaciones de ejemplo, el oxidante térmico calienta los gases residuales hasta la temperatura de combustión y los mezcla con aire u oxígeno para facilitar la oxidación completa del hidrógeno, amoníaco, monóxido de carbono y vapores orgánicos volátiles del recipiente de reacción que comprende un filtro para dióxido de carbono y vapor de agua. En realizaciones de ejemplo, la temperatura de funcionamiento del oxidante térmico es de 800 °C a 1200 °C, o de 850 °C a 950 °C.

Recipiente de adsorción

En realizaciones de ejemplo, los aparatos y los métodos opcionalmente comprenden además un recipiente de adsorción.

En realizaciones de ejemplo, los aparatos y los métodos comprenden opcionalmente un recipiente de adsorción, que está aguas abajo del recipiente de reacción que comprende un filtro, y si está presente, el recipiente de reacción del proceso. El recipiente de adsorción comprende uno o más tipos de medios adsorbentes. En determinadas realizaciones, el recipiente de adsorción comprende uno o más tipos de medios adsorbentes, que se puede utilizar para adsorber compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógeno.

En realizaciones de ejemplo, cuando el recipiente de reacción del proceso y/o el recipiente de reacción que comprende un filtro funcionan en condiciones oxidantes o en presencia de una pequeña cantidad de oxígeno, los métodos comprenden además transferir los gases residuales a un recipiente de adsorción que comprende uno o más tipos de medios adsorbentes. En realizaciones de ejemplo, el medio adsorbente comprende uno o más tipos de medios adsorbentes que adsorben compuestos que contienen azufre y producen un compuesto de sulfato, por ejemplo, sulfato de calcio.

En realizaciones de ejemplo, cuando el recipiente de reacción del proceso y/o el recipiente de reacción que comprende un filtro funcionan en condiciones reductoras o en presencia de gases reductores, los métodos comprenden además

transferir los gases residuales a un recipiente de adsorción que comprende uno o más tipos de medios adsorbentes. En las realizaciones de ejemplo, el uno o más tipos de medios adsorbentes comprenden adsorbentes metálicos o alcalinotérreos. En realizaciones de ejemplo, uno o más tipos de medios adsorbentes comprenden metales, por ejemplo, hierro, níquel o zinc. En realizaciones de ejemplo, uno o más tipos de medios adsorbentes comprenden óxidos metálicos, por ejemplo, Fe_2O_3 , FeO , Fe_3O_4 o NiO . En realizaciones de ejemplo, uno o más tipos de medios adsorbentes comprenden $\text{Al}(\text{OH})_3$. En realizaciones de ejemplo, el medio adsorbente comprende uno o más tipos de medios adsorbentes que adsorben compuestos que contienen azufre y producen un sulfuro de metal, por ejemplo, FeS y Fe_2S_3 ; sulfuro alcalinotérreo, por ejemplo, CaS ; u otro sulfuro, tal como ZnS o SnS .

En realizaciones de ejemplo, el gas de proceso no comprende oxígeno y el medio adsorbente comprende uno o más tipos de medios adsorbentes que adsorben compuestos que contienen azufre y producen un sulfuro metálico, por ejemplo, FeS y Fe_2S_3 ; sulfuro alcalinotérreo, por ejemplo, CaS ; u otro sulfuro.

Recipiente de reacción de proceso

En realizaciones de ejemplo, el aparato y los métodos opcionalmente comprenden además un recipiente de reacción del proceso. En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción del proceso comprende un recipiente o reactor cerrado con entradas para la alimentación de residuos 11, gas de fluidización o de inyección 10, correactivos y/o medio de lecho inerte 13; salidas para el gas de proceso y residuos 12; y una porción inferior del recipiente adecuada para contener un lecho que comprende correactivos y residuos. En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción del proceso es donde los residuos se someten a una pirólisis inicial. En realizaciones de ejemplo, el gas de proceso y los residuos (o sólidos de residuo pirolizados y gases de residuo) se transfieren a un recipiente de reacción que comprende un filtro después del tratamiento en el recipiente de reacción del proceso. En determinadas realizaciones, se puede agregar un gas reactivo al recipiente de reacción del proceso para gasificar el carbono en los residuos radiactivos. En determinadas realizaciones, el recipiente de reacción del proceso es el primero de dos recipientes utilizados para la pirólisis en los aparatos o métodos para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos.

En realizaciones de ejemplo, la temperatura mínima de funcionamiento para el recipiente de reacción del proceso es de 35 °C, 150 °C, 250 °C o 350 °C. En realizaciones de ejemplo, la temperatura mínima de funcionamiento del recipiente de reacción del proceso es la temperatura a la que se produce la evaporación o pirólisis de los compuestos orgánicos de los residuos, por ejemplo, 35 °C cuando los residuos contengan disolventes orgánicos de bajo punto de ebullición, o al menos 350 °C cuando los residuos contengan madera, resinas, plásticos de PVC u otros polímeros orgánicos de cadena larga.

En realizaciones de ejemplo, la temperatura máxima de funcionamiento para el recipiente de reacción del proceso es de 1050 °C, 884 °C, 801 °C, 602 °C, 600 °C, 420 °C, o la temperatura a la que los compuestos de sulfuros, sulfatos, sulfitos y/o haluro formados a partir de la reacción con uno o más correactantes y los residuos comienzan a descomponerse o fundirse.

En realizaciones de ejemplo, la temperatura del recipiente de reacción del proceso está en el intervalo de 150 °C a 1050 °C, o de 150 °C a 800 °C.

En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción del proceso se utiliza para tratar residuos radiactivos que comprenden resina de intercambio iónico. En realizaciones de ejemplo, cuando el recipiente de reacción del proceso se utiliza para tratar la resina de intercambio iónico, la temperatura de funcionamiento del recipiente de reacción del proceso está en el intervalo de 250 °C a 800 °C, o de 350 °C a 600 °C.

En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción del proceso puede operar a una ligera presión negativa o a presiones positivas, por ejemplo, una presión de 7 a 115, de 10 a 25 o de 12 a 20 psia.

En realizaciones de ejemplo, el gas de fluidización o de inyección para el lecho parcialmente fluidizado o inyectado del recipiente de reacción del proceso que comprende correactivos y residuos es, por ejemplo, vapor, hidrógeno, oxígeno, metano, amoníaco, dióxido de carbono, monóxido de carbono, gases inertes, gases oxidantes, gases reductores, nitrógeno, vapores orgánicos volátiles y mezclas de los mismos. En determinadas realizaciones, se introduce vapor en el recipiente de reacción del proceso. En determinadas realizaciones, no se introduce vapor en el recipiente de reacción del proceso. En determinadas realizaciones, el gas de fluidización o de inyección no es un gas reductor.

En determinadas realizaciones, el lecho en la porción inferior del recipiente de reacción del proceso se fluidiza parcialmente. Los lechos parcialmente fluidizados se describen anteriormente. En determinadas realizaciones, el lecho en la porción inferior del recipiente de reacción del proceso se inyecta. En determinadas realizaciones, el lecho en la porción inferior del recipiente de reacción del proceso no se fluidiza. En determinadas realizaciones, no se añade gas de fluidización o de inyección al lecho en la porción inferior del recipiente de reacción del proceso. En determinadas realizaciones, el lecho en la porción inferior del recipiente de reacción del proceso se agita mecánicamente. En determinadas realizaciones, el lecho en la porción inferior del recipiente de reacción del proceso se agita mecánicamente y no se fluidiza ni se inyecta. En realizaciones de ejemplo, el lecho parcialmente fluidizado o inyectado

- que comprende correctivos y residuos comprende además un medio de lecho inerte, por ejemplo, un medio cerámico inerte tal como sílice, mullita, corundo, corderita o alúmina; y otros tipos de medios inertes, tal como bauxita, cuarzo o arena de sílice. En determinadas realizaciones, el medio de lecho inerte comprende bauxita. En determinadas realizaciones, el medio de lecho inerte comprende cuentas de alúmina. El tamaño de las cuentas del medio de lecho inerte está en el intervalo de 100 a 5000 micrómetros, o de 200 a 1000 micrómetros, en diámetro. Las cuentas de este tamaño no se elutrian fácilmente fuera del recipiente y, por lo tanto, minimizan el arrastre. En determinadas realizaciones, el medio de lecho inerte no comprende alúmina. En determinadas realizaciones, el lecho parcialmente fluidizado o inyectado que comprende correctivos y residuos no comprende medios de lecho inertes.
- 10 En determinadas realizaciones, el lecho parcialmente fluidizado o inyectado del recipiente de reacción del proceso comprende una zona o porción oxidante. En determinadas realizaciones, el lecho parcialmente fluidizado o inyectado del recipiente de reacción del proceso no contiene un reductor, o zona o porción privada de oxígeno. En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción del proceso puede funcionar en condiciones oxidantes. En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción del proceso puede funcionar en condiciones reductoras. En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción del proceso no funciona en condiciones reductoras.
- 15 En realizaciones de ejemplo, el recipiente de reacción del proceso se puede utilizar para reducir sustancialmente el contenido de carbono de los residuos radiactivos. En realizaciones de ejemplo, cuando los residuos se tratan por primera vez en el recipiente de reacción del proceso, el tratamiento posterior de los residuos en el recipiente de reacción que comprende un filtro puede usarse para eliminar compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos y para reducir aún más el contenido de carbono de los residuos.
- 20 A partir de la descripción, se apreciará que las realizaciones de la presente tecnología superan las limitaciones de la técnica anterior. Los expertos en la materia apreciarán que la presente tecnología no se limita a ninguna aplicación o implementación descrita específicamente y que las realizaciones descritas en el presente documento son ilustrativas y no restrictivas. A partir de la descripción de los ejemplos de realización, los equivalentes de los elementos mostrados en los mismos se sugerirán por sí mismos a los expertos en la técnica, y las formas de construir otras realizaciones de la presente tecnología aparecerán para los profesionales de la técnica.
- 25

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos, comprendiendo el aparato:
 - 5 (a) un recipiente de reacción que comprende un filtro en la parte superior del recipiente para realizar un tratamiento térmico de los residuos, en donde un lecho está contenido en la porción inferior de dicho recipiente de reacción que comprende un filtro, comprendiendo el lecho uno o más correactivos y residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos, en donde, en uso, el lecho está parcialmente fluidizado o inyectado; y
 - 10 (b) un oxidante térmico para la combustión de gases residuales del recipiente de reacción.
2. El aparato de la reivindicación 1, en donde el aparato comprende, además:
 - 15 (c) un recipiente de adsorción que comprende uno o más tipos de medios adsorbentes para adsorber compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos después del tratamiento de los residuos por el recipiente de reacción.
3. El aparato de la reivindicación 1 o 2, en donde el lecho de dicho recipiente de reacción que comprende un filtro comprende además un medio de lecho inerte.
- 20 4. El aparato de una de las reivindicaciones anteriores, en donde el aparato comprende además un recipiente de reacción de proceso aguas arriba de dicho recipiente de reacción que comprende un filtro.
5. El aparato de la reivindicación 4, en donde el recipiente de reacción del proceso comprende además un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción del proceso, en donde preferentemente el lecho en el recipiente de reacción del proceso comprende los residuos, uno o más correactivos y, opcionalmente, un medio de lecho inerte.
- 25 6. El aparato de una de las reivindicaciones anteriores, en donde la temperatura de dicho recipiente de reacción que comprende un filtro está configurada en uso para estar por debajo de la temperatura a la que se volatilizan los compuestos que contienen azufre y/o los compuestos que contienen halógenos.
- 30 7. El aparato de una de las reivindicaciones 4 o 5, en donde la temperatura del recipiente de reacción del proceso está configurada en uso para estar por debajo de la temperatura a la que se volatilizan los compuestos que contienen azufre y/o los compuestos que contienen halógenos.
- 35 8. El aparato de la reivindicación 2, en donde el medio adsorbente comprende uno o más tipos de medios adsorbentes seleccionados del grupo que consiste en: compuestos que adsorben compuestos que contienen azufre y producen un compuesto de sulfato; compuestos que adsorben compuestos que contienen azufre y producen un sulfuro de metal, sulfuro alcalinotérreo u otro sulfuro; adsorbentes metálicos o alcalinotérreos; metales de hierro, níquel o zinc; óxidos de metales; y $\text{Al}(\text{OH})_3$.
- 40 9. Un método para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos, comprendiendo el método:
 - (a) añadir residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos; y uno o más correactivos a un recipiente de reacción que comprende un filtro en la parte superior del recipiente, para formar un lecho en la porción inferior de dicho recipiente de reacción que comprende un filtro;
 - 45 (b) calentar dicho recipiente de reacción que comprende un filtro a una temperatura en el intervalo de 250 °C a 1050 °C para formar residuos radiactivos pirolizados y gases residuales;
 - (c) agitar, fluidizar parcialmente o inyectar el lecho de dicho recipiente de reacción que comprende un filtro;
 - 50 (d) opcionalmente, añadir un gas reactivo a dicho recipiente de reacción para gasificar el carbono en los residuos pirolizados;
 - (e) eliminar los residuos radiactivos pirolizados de dicho recipiente de reacción que comprende un filtro para su retirada; y
 - (f) transferir los gases residuales desde dicho recipiente de reacción que comprende un filtro a un oxidante térmico
 - 55 para la combustión;
 en donde dicho recipiente de reacción que comprende un filtro se puede calentar opcionalmente a una temperatura en el intervalo de 250 °C a 1050 °C antes de la etapa (a).
- 60 10. El método de la reivindicación 9, en donde la etapa (d) comprende añadir un gas reactivo a dicho recipiente de reacción que comprende un filtro para gasificar el carbono en los residuos pirolizados.
11. El método de la reivindicación 10, en donde la etapa de añadir un gas reactivo para gasificar el carbono en los residuos pirolizados se realiza a una temperatura por debajo de la que se volatilizan los compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógeno.
- 65 12. Un método para el tratamiento de residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que

contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos, comprendiendo el método las siguientes etapas (a) (1)-(4) y (b) a (f):

(a)

- 5 (1) añadir residuos radiactivos que comprenden compuestos orgánicos y compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógenos; y uno o más correactivos a un recipiente de reacción del proceso para formar un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción del proceso;
- (2) calentar el recipiente de reacción del proceso a una temperatura en el intervalo de 35 °C a aproximadamente 1050 °C;
- 10 (3) agitar, fluidizar parcialmente o inyectar el lecho mientras se mantiene la temperatura del recipiente de reacción del proceso en el intervalo de 35 °C a 1050 °C para formar residuos radiactivos y gases residuales total o parcialmente pirolizados;
- (4) transferir los residuos radiactivos total o parcialmente pirolizados y los gases residuales del recipiente de reacción del proceso a un recipiente de reacción que comprende un filtro para formar un lecho en la porción inferior del recipiente de reacción que comprende un filtro;
- 15 (b) calentar dicho recipiente de reacción que comprende un filtro a una temperatura en el intervalo de 250 °C a 1050 °C para formar residuos radiactivos pirolizados y gases residuales;
- (c) agitar, fluidizar parcialmente o inyectar el lecho de dicho recipiente de reacción que comprende un filtro;
- (d) opcionalmente, añadir un gas reactivo a dicho recipiente de reacción para gasificar el carbono en los residuos pirolizados;
- 20 (e) eliminar los residuos radiactivos pirolizados de dicho recipiente de reacción que comprende un filtro para su retirada; y
- (f) transferir los gases residuales desde dicho recipiente de reacción que comprende un filtro a un oxidante térmico para la combustión;
- 25 en donde el recipiente de reacción del proceso puede calentarse opcionalmente a una temperatura en el intervalo de 35 °C a 1050 °C antes de la etapa (1); y en donde el recipiente de reacción que comprende un filtro puede calentarse opcionalmente a una temperatura en el intervalo de 250 °C a 1050 °C antes de la etapa (4).

13. El método de la reivindicación 12, en donde la etapa (b) se realiza antes de la etapa (4).

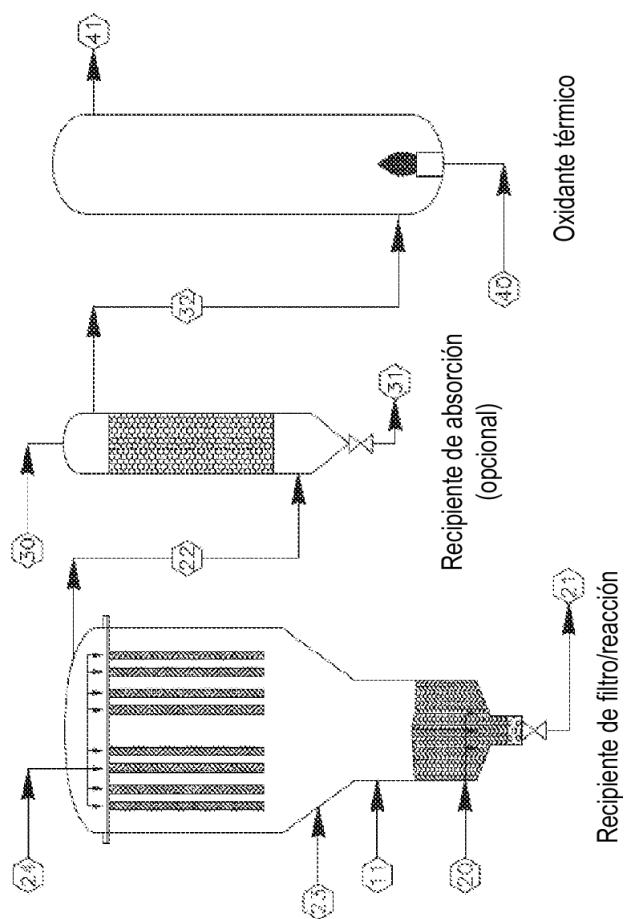
- 30 14. El método de la reivindicación 12 o 13, que comprende además añadir un gas reactivo al recipiente de reacción que comprende un filtro en la etapa (d) para gasificar el carbono en los residuos pirolizados, en donde preferentemente la etapa de añadir un gas reactivo para gasificar el carbono en los residuos pirolizados se realiza a una temperatura por debajo de la que se volatilizan los compuestos que contienen azufre y/o compuestos que contienen halógeno.

- 35 15. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en donde uno o más correactivos son para el tratamiento de residuos que comprenden compuestos que contienen azufre en condiciones reductoras y se seleccionan del grupo que consiste en: compuestos de calcio; zinc; hierro; níquel; estaño; metales alcalinos, tal como sodio, potasio y litio; metales alcalinotérreos, tal como magnesio y bario; aluminio; bismuto; manganeso; molibdeno; fósforo; silicio; plata; estroncio; estaño; silicatos de calcio; adsorbentes de H₂S; u otros compuestos que pueden reaccionar con compuestos que contienen azufre para formar sulfuros y/o H₂S estables; y mezclas de los mismos.
- 40

- 45 16. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15, en donde uno o más correactivos son para el tratamiento de residuos que comprenden compuestos que contienen azufre en condiciones oxidantes y se seleccionan del grupo que consiste en: compuestos de calcio, magnesio, bario, sodio, potasio, litio, aluminio, hierro, níquel, manganeso, arcillas, silicatos de calcio u otros compuestos que pueden reaccionar con compuestos que contienen azufre para formar compuestos estables de sulfato y sulfito con óxidos de azufre (SO₄²⁻ y SO₃²⁻), y mezclas de los mismos.

- 50 17. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 16, en donde uno o más correactivos son para el tratamiento de residuos que comprenden compuestos que contienen halógeno y se seleccionan del grupo que consiste en: compuestos de calcio, zinc, hierro, níquel, sodio, potasio, litio, aluminio, magnesio, bario, bismuto, cerio, cobalto, manganeso, molibdeno, plata, estaño, titanio, circonio, arcillas, silicatos de calcio u otros compuestos que pueden reaccionar con compuestos que contienen halógenos para formar sales o compuestos estables, compuestos de haluros no volátiles y mezclas de los mismos.
- 55

18. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 17, en donde el lecho no contiene medios de lecho inertes.



Corriente 20: Gas de fluidización/inyección (puede contener gases de oxidación o reducción)

Corriente 11: Alimentación de residuos

Corriente 32: Gas de proceso

Corriente 23: Correactivo, también medio de lecho inerte

Corriente 21: Residuos de desecho

Corriente 24: Gas de limpieza de pulso de filtro (usualmente N₂)

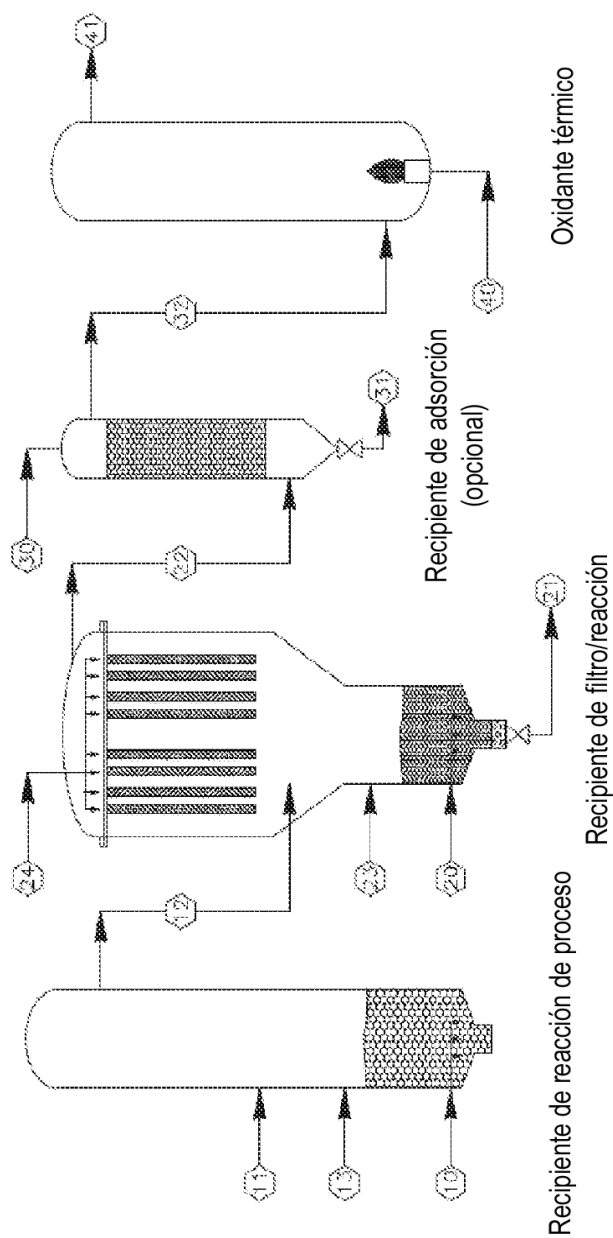
Corriente 30: Adsorbente (H₂S, SO₄ y adsorbente halógeno)

Corriente 31: Adsorbente gastado

Corriente 40: Aire de combustión y combustible

Corriente 41: Descarga de gas de salida a la pila

Figura 1



Corrientes 10 y 20: Gas de fluidización/inyección (puede contener gases de oxidación o reducción)

Corriente 11: Alimentación de residuos

Corrientes 12, 22, 32: Gas de proceso

Corrientes 13, 23: Correactivo, también medio de lecho inerte

Corriente 21: Residuos de desecho

Corriente 24: Gas de limpieza de pulso de filtro (usualmente N₂)

Corriente 30: Adsorbente (H₂S, SO₄ y adsorbente halógeno)

Corriente 31: Adsorbente gastado

Corriente 40: Aire de combustión y combustible

Corriente 41: Descarga de gas de salida a la pila

Figura 2